



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO, 380/220V, PARA MEJORAR
LA CALIDAD Y EFICIENCIA EN EL LOCAL DEL SENATI-
TRUJILLO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

AUTOR:

SEGUNDO MANUEL SOTOMAYOR VÁSQUEZ

ASESOR METODOLÓGICO:

Mg. EDWARD JAVIER LEÓN LESCANO

ASESOR ESPECIALISTA:

Mg. CARLOS ENRIQUE SÁNCHEZ HUERTAS


LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN


TRUJILLO-PERÚ

2017

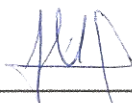
PAGINA DEL JURADO



PRESIDENTE
ING. JORGE INCISO VASQUEZ



SECRETARIO
ING. MARIO OLIVERA ALDANA



VOCAL
ING. JAVIER LEÓN LESCANO

DEDICATORIA

A mis seres queridos, mis ilustres
maestros y amigos, pero por sobre todo a
la memoria de mi Padre

El autor

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su infinito amor y gracia; A mi madre, a la memoria de mí adorado padre. A mi esposa; A mis queridos hijos Luuana, Ahitana y Americo. A todas las personas que moldearon mi proceso de formación profesional y lograron instruirme para lograr desarrollar este trabajo

El autor

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo: SOTOMAYOR VÁSQUEZ, Segundo Manuel, con DNI N° 43305668, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería, Escuela de ingeniería mecánica eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo diciembre del 2017



Sotomayor Vásquez Segundo Manuel

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo me es grato presentar ante ustedes la Tesis titulada “Análisis del sistema eléctrico de utilización, 380/220V, para mejorar la calidad y eficiencia en el local del SENATI Trujillo”, la misma que someto a vuestra consideración, evaluación y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

El autor

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es realizar el análisis de calidad de energía, compensación de energía reactiva y la evaluación del plan tarifario de las instalaciones eléctricas de la institución educativa SENATI (Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajos Industrial) ubicado en la ciudad de Trujillo.

El estudio se desarrolló básicamente con equipos de medición como: Analizador de calidad de energía Fluke 1743, osciloscopio tektronixs TDS1102B y cámara termografica DT- 9875.

De las mediciones a nivel de alimentadores se realizaron cuadros de resumen y análisis para determinar la calidad de energía de acuerdo la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (026-2006-EM) de los cuales solo los paramentos de THDV sobrepasaron el 8% no cumplen dicha norma, también se encontró que los THDI superan el 20%.

La compensación se desarrolló mediante cálculos utilizando la data de las mediciones, obteniendo una compensación global con el $\cos\phi$ al 0.99 y variable según el requerimiento, la cual generaría una inversión de 5070 soles en un banco de condensadores de 5 pasos con una capacidad total de 55kvar con un retorno de inversión calculado en un año 5 meses y a partir de esa fecha generaría un ahorro promedio de 300 soles/mes.

La evaluación de la facturación se desarrolló de acuerdo a la Guía de orientación para la selección de la tarifa eléctrica para usuarios en media tensión regulada por Osinerg.

En este estudio se realizaron juntos los análisis ya mencionados para verificar la calidad de energía eléctrica y aumentar la eficiencia del sistema eléctrico del SENATI Trujillo.

Palabras claves. Calidad de energía eléctrica, compensación y facturación

ABSTRAC

The objective of this work is to perform the analysis of energy quality, compensation of reactive energy and the evaluation of the rate plan of the facilities of the educational institution SENATI (National Industrial Training Service) located in the city of Trujillo.

The study was basically developed with measurement equipment such as: fluke 1743 energy quality analyzer, TDS1102B tektronixs oscilloscope and DT-9875 thermographic camera.

From the measurements at the level of feeders, tables of summary and analysis were made to determine the quality of energy according to the Technical Standard of Quality of Electric Services (026-2006-EM) of which only the walls of THDV exceeded 8% they do not meet this norm, it was also found that the THDI exceeds 20%.

The compensation was developed using calculations using the data of the measurements, obtaining a global compensation with $\cos\phi$ at 0.99 and variable according to the requirement, which would generate an investment of 5070 soles in a 5 step capacitor bank with a total capacity of 55kvar with an investment return calculated in a year 5 months and from that date would generate an average savings of 300 soles / month.

The evaluation of the billing was developed according to the Orientation Guide for the selection of the electricity tariff for users in medium voltage regulated by Osinerg.

In this study, the aforementioned analyzes were carried out together to verify the quality of electrical energy and increase the efficiency of the SENATI Trujillo electrical system.

Keywords. Electric power quality, compensation and billing

ÍNDICE

PAGINA DEL JURADO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	V
PRESENTACIÓN	VI
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Realidad problemática	16
1.2 Trabajos previos.....	17
1.3 Teorías relacionadas.....	20
1.3.1 Características de un sistema eléctrico.....	20
1.3.2 Mediciones eléctricas.....	23
1.3.2.1 Registrador de suministro o energía eléctrica modelo 1743 de Fluke....	23
1.3.2.2 Osciloscopio digital tektronixs TDS1102B.....	25
1.3.2.3 Cámara Termográfica DT-9875	26
1.3.3 Análisis de calidad y la eficiencia de la energía eléctrica.....	26
1.3.3.1 Calidad de energía.....	26
1.3.3.2 Eficiencia de energía eléctrica	27
1.3.3.3 La forma de onda sinusoidal	27
1.3.3.4 Valores sinusoidales de voltaje y corriente	28
1.3.3.5 Disturbios en sistemas eléctricos.	29
1.3.3.6 Perturbaciones de las redes eléctricas	32
1.3.3.7 Los armónicos.....	33
1.3.3.8 Transitorios (cambios repentinos en las condiciones de la red)	
Impulso	38
1.3.3.9 Fluctuaciones de voltaje.....	39
1.3.3.10 Variaciones en la frecuencia.	39
1.3.3.11 Los costos para la solución del problema de calidad de la energía. ...	40
1.3.3.12 Instalaciones eléctricas con conexión a tierra	40
1.3.4 Norma técnica para la calidad de la energía eléctrica.....	41
1.3.4.1 Normas nacionales	41

1.3.5	Compensación de la energía y plan tarifario	43
1.3.5.1	Principio de compensación de energía reactiva.....	43
1.3.5.2	Ventajas de la compensación	43
1.3.5.3	Corrección de factor de potencia	44
1.3.5.4	Calculo de potencia reactiva a instalar.....	45
1.3.5.5	Elección de la capacidad del condensador	47
1.3.5.6	Métodos de compensación (17)	47
1.3.5.7	Tipos de compensación (17)	48
1.3.5.8	Tiempo de recuperación de la inversión (T.R.I)	48
1.3.5.9	Tarifas eléctricas	48
1.3.5.10	Usuarios en media tensión (MT) y baja tensión (BT)	49
1.3.5.11	Opciones tarifarias (19)	49
1.4	Formulación del problema.....	52
1.5	Justificación del estudio	52
1.6	Hipótesis	53
1.7	Objetivos	54
1.7.1	General	54
1.7.2	Específicos.....	54
II.	METODOLOGÍA	55
2.1	Diseño de investigación	55
2.2	Variables y operacionlización.....	55
2.2.1	Variable independiente:	55
2.2.2	Variable dependiente:	55
2.2.3	Operacionalización de variables	56
2.3	Población, muestra y muestreo.....	57
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad... 57	
2.4.1	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
2.4.2	Equipamiento e instrumentos utilizados	58
2.4.3	Validación y confiabilidad del instrumento	59
2.5	Método de análisis de datos	60
2.6	Aspectos éticos.....	60
III.	RESULTADOS.....	61

3.1 Recopilación de datos de los parámetros y características eléctricas del SENATI	61
3.1.1 Subestación eléctrica	61
3.1.2 Datos del transformador general de la sub estación	61
3.1.3 Circuitos de distribución eléctrica	62
3.1.4 Potencia contratada y plan tarifario	62
3.1.5 Parámetros de energía eléctrica	62
3.2 Mediciones de parámetros eléctricos	63
3.2.1 Mediciones con analizador 1743 Fluke	63
3.2.2 Mediciones con cámara termografía DT-9875	68
3.2.3 Mediciones con osciloscopio tecktronixs TDS1102B	69
3.2.4 Mediciones tomadas del medidor de energía	70
3.3 Análisis de las mediciones eléctrica para identificar las fallas en la calidad y eficiencia de la energía eléctrica	73
3.3.1 Análisis de voltaje	73
3.3.2 Análisis de frecuencia	76
3.3.3 Análisis de la forma de onda sinusoidal	77
3.3.4 Análisis de distorsiones y perturbaciones de la energía eléctrica	77
3.3.5 Análisis de la energía eléctrica consumida	80
3.3.6 Análisis del transformador	82
3.4 Determinación de calidad de energía eléctrica	83
3.5 Compensación y plan tarifario	84
3.5.1 Análisis de costos de energía activa y reactiva	84
3.5.1.1 Compensación correspondiente al mes de septiembre	84
3.5.1.2 Selección de tipo de compensación	85
3.5.1.3 Retorno de inversión de la compensación	89
3.5.2 Análisis del costo del plan tarifario	90
3.5.2.1 Cálculos matemáticos de planes tarifarios	90
3.6 Plan de acción para mejorar la calidad y eficiencia de energía eléctrica del SENATI	92
IV. DISCUSIÓN	93
V. CONCLUSIONES	96
VI. RECOMENDACIONES	98

VII. REFERENCIAS	99
7.1 Referencias bibliográficas	99
7.2 Anexos	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Desfase entre tensión y corriente en un circuito resistivo (6)	21
Figura 1.2 Desfase en tensión y corriente (I atrasada 90° de V) (6).....	22
Figura 1.3 Desfase en tensión y corriente (I adelantado 90° de V) (6).....	22
Figura 1.4 Triangulo de potencias	23
Figura 1.5 Registro en un sistema trifásico de 4 hilos (en estrella) (8).....	24
Figura 1.6 Ejemplo de medición con un osciloscopio (9)	25
Figura 1.7 Toma completa de una cámara termografica DT-9875 (10).....	26
Figura 1.8 Medición de un periodo (13).....	28
Figura 1.9 Sobretensiones transistorizadas (11).....	30
Figura 1.10 Interrupciones instantáneas (11).....	31
Figura 1.11 Interrupciones temporales (11).....	31
Figura 1.12 Ruido Eléctrico (11).....	32
Figura 1.13 Sistemas trifásicos desequilibrados (14).....	32
Figura 1.14 Tercera Armónica (14)	34
Figura 1.15 La quinta armónica. (14)	34
Figura 1.16 Densidades de corriente en un mismo conductor (15)	36
Figura 1.17 Resonancia en los circuitos (15)	38
Figura 1.18 Representación gráfica de compensación de energía reactiva (del autor).....	46
Figura 2.1 Osciloscopio TDS1102B	58
Figura 2.2 Cámara termografica DT-9875 (10)	58
Figura 2.3 Analizador fluke 1743.....	59
Figura 3.1 Medición de temperatura en la base de los terminales	68
Figura 3.2 Datos de la medición en la base de los bornes del transformador	69
Figura 3.3 Medición de todo el transformador e indicando el punto más caliente	69
Figura 3.4 Datos de la medición del transformador y el punto más caliente	69
Figura 3.5 Medición de la forma de onda L1 y L2	70
Figura 3.6 Medición de la forma de onda de L1 y L3	71
Figura 3.7 Parámetros de la onda en L1	71
Figura 3.8 Parámetros de la onda en L2	72
Figura 3.9 Parámetros de la onda en L3	72
Figura 3.10 Análisis de mediciones de voltaje línea a neutro.....	74

Figura 3.11 Análisis de tensiones rms línea a línea	74
Figura 3.12 Grafica de mediciones de voltaje línea a línea	75
Figura 3.13 Grafica de mediciones de voltaje de línea a neutro	76
Figura 3.14 Grafica de comportamiento de la frecuencia	76
Figura 3.15 Análisis de distorsión armónica total por línea	78
Figura 3.16 Grafica de armónicos totales de corriente por línea	78
Figura 3.17 Análisis de armónicos totales en el neutro	79
Figura 3.18 Mediciones de flicker post	79
Figura 3.19 Grafica de mediciones de corriente en cada línea	80
Figura 3.20 Grafica de mediciones de corriente en el neutro	81
Figura 3.21 Grafica de mediciones de factor de potencia	81
Figura 3.22 Grafica de medición de las potencias activa, reactiva y aparente	82
Figura 3.23 Mediciones del cos phi	85
Figura 3.24 Potencia consumida en hora punta y hora fuera punta	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de los transitorios oscilatorios.	39
Tabla 1.2 Nivel de los armónicos	42
Tabla 1.3 Valores típicos de factor de potencia.....	45
Tabla 3.1 Datos característicos del transformador de la sub estación	61
Tabla 3.2 Parámetros eléctricos.....	63
Tabla 3.3 Mediciones de voltaje TGS.....	63
Tabla 3.4 Medición de corrientes y frecuencia en el TGS	64
Tabla 3.5 mediciones de THDV y THDI en el TGS	65
Tabla 3.6 Mediciones de flicker y factor de potencia en el TGS.....	65
Tabla 3.7 Mediciones de corriente y frecuencia	66
Tabla 3.8 Mediciones de THDV y THDI en la alimentación de MTLM.....	66
Tabla 3.9 Mediciones de corriente y frecuencia en el circuito de ELEC	67
Tabla 3.10 Mediciones de THDV y THDI del circuito ELEC	68
Tabla 3.11 Mediciones de voltaje de línea con referencia a tierra.....	73
Tabla 3.12 Determinación de calidad de energía eléctrica.....	83
Tabla 3.13 Resumen de compensación en KVAR según el consumo	89

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Cada día en el mundo se le elevan los estándares de calidad en la formación de nuevos técnicos, para lo cual las instalaciones eléctricas de los laboratorios deben estar en óptimas condiciones y regidas a normas, estándares de calidad por lo tanto estas necesidades conllevan a plantear un estudio y análisis de la calidad y eficiencia de la energía eléctrica.

En el Perú La calidad del servicio esta normado por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, la cual evalúa aspectos fundamentales, sin embargo, el aspecto más sensible y fácilmente perecible para la industria e instituciones de educación técnica es el aspecto de los indicadores del servicio eléctrico (calidad de suministro).

El centro de formación técnica SENATI Trujillo presenta una problemática en el sistema eléctrico, 380/220V. En el cual se presenta desbalances de tensiones con la consecuente variación de los parámetros de calidad de suministro eléctrico; en los talleres de electrotecnia, los laboratorios de electrónica de potencia es más notorio, lo cual conlleva a que no se pueda realizar una rectificación trifásica debido a que cada línea posee una amplitud diferente o fuera de límites de tolerancia del mismo modo no se pueda realizar un control de ángulo de fase con exactitud, así mismo en las máquinas eléctricas el problema no permite efectuar las pruebas de laboratorio en forma efectiva, los mismos equipos están expuestos a dañarse, en las aulas los proyectores y computadoras sufren interrupción de su funcionamiento normal antes de los respectivos mantenimiento; en los talleres de soldadura las maquinas modernas sufren daños innecesarias interrumpiendo la continuidad de la formación profesional técnica de los alumnos por una mala calidad de energía eléctrica.

Los indicadores individuales que determina la norma técnica de la calidad de servicio eléctrico son la variación de la tensión ($\Delta V\%$), las variaciones de frecuencia ($\Delta f\%$), la cantidad de armónicas de corriente (THDI) o tensión (THDV)

medidos en porcentaje, el índice de severidad por flícker (pst%) y en número total de interrupciones, los mismo que de ser transgredidos generan problemas y daños a los equipos.

Con respecto a la facturación mensual del SENATI, se presenta un valor de energía reactiva que sobrepasa el 30% de consumo de energía activa, por lo que en la facturación se incluye un monto mensual aumentado el monto neto mensual facturado, el plan tarifario también debe ser evaluado de acuerdo a la Norma de Opciones Tarifarias vigente para que se pueda mejorar la eficiencia del consumo eléctrico del SENATI.

1.2 Trabajos previos

En la tesis de Brian Eduardo Fiestas Farfán, con el título “Ahorro energético en el sistema eléctrico de la Universidad de Piura – campus Piura” como Tesis para optar el Grado de Master en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con mención en Sistemas Eléctricos y Automatización Industrial en el año 2011 en la ciudad de Piura – Perú, en la cual se plantea, presentar los fundamentos teóricos y normativos del ahorro energético y gestión tarifaria.

De esto se concluye que, si bien no se ha realizado una adecuada facturación, no conviene realizar reclamo alguno ya que de manera general se ha favorecido a la Universidad de Piura. Teniéndose un ahorro neto de S/.71 182 a lo largo de los 33 meses que se ha evaluado la facturación, lo que corresponde a S/.2 157 ahorrado en promedio por mes.

El tiempo de vida útil de las lámparas fluorescentes ha aumentado considerablemente, de 12 000 a 18 000 horas debido al uso de balastros electrónicos. El detalle del cálculo de reducción en los costos de mantenimiento se aprecia en el anexo N y corresponde en promedio por cada uno de los 20 años a S/.19 684.

En este trabajo llega a la conclusión que el ahorro energético es un tema que todo ingeniero proyectista, de mantenimiento o de operaciones, independiente de su

especialidad, debe de tener en cuenta a la hora de su diseño, plan de mantenimiento o de programación de trabajos. (1).

En la tesis de Edgar Ponce Niño de Gúzman, con el título “Análisis de los parámetros de calidad de los servicios eléctricos en la Universidad Católica de Santa María” como tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Católica de Santa María en año 2013 en la ciudad Arequipa – Perú, en la cual se plantea como objetivo de. Analizar los parámetros de calidad de los servicios eléctricos del sistema de utilización 10000V (subestación eléctrica SED 360KVA) de la Universidad Católica de Santa María, en dicha investigación se arribó a las siguientes concreciones:

De acuerdo entonces a la tabla resumen del indicador de la tensión y a la tolerancia de la NTCSE, y dado que dichos indicadores en promedio están por encima de 5% de la tensión nominal para una zona urbana, concluimos que no se cumple el parámetro de calidad de la tensión. Además de los 297 registros de lectura que se tomó con el instrumento durante 24 horas en intervalos de 5 minutos se ha encontrado que 242 registros indican una tensión mayor al 5%, por lo que en porcentaje sería el 81.48% del periodo de medición que no cumple con el porcentaje indicado en la norma NTCSE.

De acuerdo entonces a la tabla del indicador de la frecuencia y a la tolerancia de la NTCSE, y dado que dichos indicadores de las Variaciones sostenidas de frecuencia F_k (%) en promedio están por encima de 0.81% de la frecuencia nominal, cuando en la NTCSE indicas un límite de 0.6%, además el parámetro de Variaciones Súbitas de frecuencia VSF tiene un valor máximo de 1.31 Hz, cuando el límite es de 1Hertz, por lo que concluimos que no se cumple el parámetro de calidad de la frecuencia.

De acuerdo entonces a la tabla del Índice de Severidad por Flícker y a la tolerancia de la NTCSE, y dado que dichos indicadores en promedio están por debajo de 1 de la Pst establecida, concluimos que se cumple el parámetro de calidad del flicker.

De acuerdo a la tabla mostrada en el punto 4.5., tenemos que los indicadores de calidad de distorsión por armónicos en el voltaje THDv para el sistema eléctrico, se ha considerado los valores eficaces (RMS) de las Tensiones armónicas Individuales (Vi) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, se consideran además las armónicas comprendidas entre la dos (2º) y la cuarenta (40º) y a la tolerancia de la NTCSE, y dado que dichos indicadores en promedio están por debajo de 5% del THDv establecido, concluimos que se cumple el parámetro de calidad Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) de voltaje.

Dado que el sistema eléctrico analizado es en baja tensión, pero el cliente (USCM) es un cliente en media tensión, se considera como límite hasta 04 Interrupciones/semestre, y como solo se tuvieron dos se concluye que si cumple la calidad de suministro de acuerdo al Número Total de Interrupciones por Cliente por Semestre (N).

Dado que el sistema eléctrico analizado es en baja tensión, pero el cliente (USCM) es un cliente en media tensión, se considera como límite hasta 07 horas/semestre, y se ha tenido 1.65 horas/semestre por lo que si cumple la calidad de suministro de acuerdo a la Duración Total Ponderada (2).

En la tesis de Basantes Tisalema Juan Carlos y Lalaleo Achachi Diego Fernando, con el título “Análisis de la demanda eléctrica para realizar un diagnóstico de la calidad de energía en el hospital del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (iess) de la ciudad de Ambato en el año 2015” como tesis de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Técnica de Cotopaxi Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas en año 2016 en la ciudad Latacunga – Ecuador, en la cual se plantea como objetivo. Proponer mecanismos de mejora de los parámetros eléctricos en las zonas críticas del Hospital IESS de Ambato.

En dicha investigación arribo a las siguientes conclusiones:

La demanda máxima registrada en el transformador general del actual hospital del IEES de Ambato en el periodo de mediciones de siete días continuos fue de 399 KVA, lo que representa una utilización de 49.87% de la potencia total del transformador, siendo esto un indicativo que el transformador se encuentra subcargado.

Al realizar el análisis del sistema eléctrico se detectó armónicos de corriente y de voltaje en el cual los armónicos de voltaje se encuentran dentro de los límites permitidos por la norma vigente menos del 3%, y los armónicos de corriente se encuentran excediendo el límite permitido llegando en ocasiones al 20%, estos factores hacen que se produzcan pérdidas en el sistema y mal funcionamiento de equipos instalados (3).

1.3 Teorías relacionadas

1.3.1 Características de un sistema eléctrico

Los sistemas eléctricos están compuestos por instalaciones eléctricas áreas destinadas para la etapa de control, equipos potencia y parámetros eléctricos como se describe a continuación.

Subestación eléctrica

Parte de una red eléctrica, limitada a un área dada, incluyendo principalmente terminales de las líneas de transmisión o distribución (equipos de maniobra y control), edificaciones y transformadores (4)

Transformadores trifásicos

Según (5) como la mayor parte de la potencia que se genera y transmite a largas distancias es del tipo trifásico, pueden utilizarse tres transformadores monofásicos exactamente iguales para formar un transformador trifásico. Sin embargo, por razones económicas, un transformador trifásico se diseña para tener sus seis devanados en un núcleo magnético común y pueden ser de tipo núcleo o acorazado. Puesto que el flujo de tercera armónica que crea cada devanado está en fase, es preferible un transformador de tipo acorazado porque proporciona una trayectoria externa para dicho flujo. En otras palabras, las formas de ondas de

voltaje resultan menos distorsionadas para un transformador tipo acorazado que para un tipo núcleo con especificaciones semejantes.

Los tres devanados en cada lado de un transformador trifásico pueden estar conectados en estrella (Y) o en delta (Δ). Por tanto, hay cuatro formas posibles de conectar un transformador trifásico: Y/Y, Y/ Δ , Δ /Y, Δ / Δ .

Cargas óhmicas

En circuitos resistivos las formas de onda de la tensión y de la corriente alcanzan sus picos, valles y cruces por cero en el mismo instante de tiempo se dice que la tensión y la corriente están en fase ($\varphi = 0^\circ$) como se muestra en la figura 1.1 y toda la potencia de entrada se convierte en potencia activa (6).

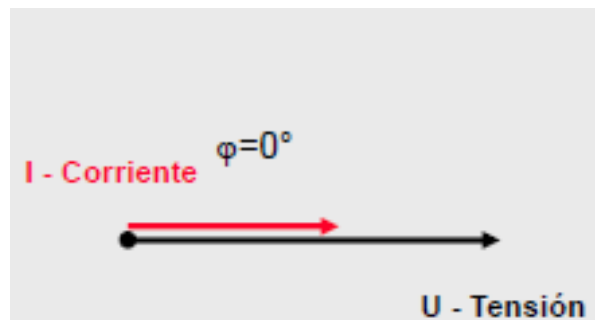


Figura 1.1 Desfase entre tensión y corriente en un circuito resistivo (6)

Cargas inductivas

las cargas industriales son inductivas por naturaleza, por ejemplo: motores, transformadores, etc. Debido a la reactancia inductiva de la carga, la corriente tomada por la carga se retrasa eléctricamente con respecto a la forma de onda de la tensión en un ángulo φ como se muestra en la figura 1 (6)

Carga capacitiva

Debido a la reactancia capacitiva de la carga, la corriente tomada por la carga se adelanta a la tensión en un ángulo φ como se muestra en la figura 1.3 (6).

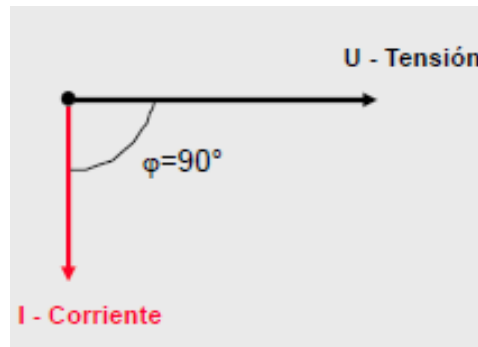


Figura 1.2 Desfase en tensión y corriente (I atrasada 90° de V) (6)

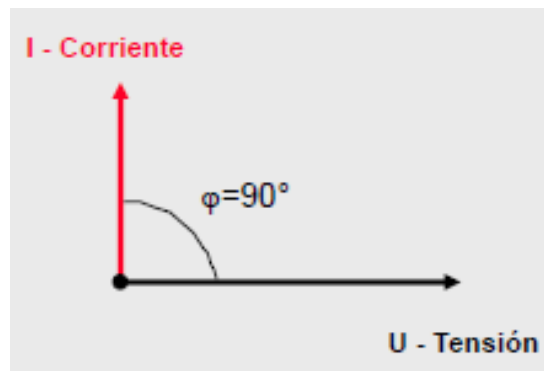


Figura 1.3 Desfase en tensión y corriente (I adelantado 90° de V) (6)

Tensión

Para mover el electrón en un conductor en una dirección particular es necesario que se transfiera cierto trabajo o energía. Este trabajo lo lleva a cabo una fuerza electromotriz externa (fem), Esta fem también se conoce como tensión o diferencia de potencial.

Tensión (o diferencia de potencial) es la energía requerida para mover una carga unitaria a través de un elemento, medida en volts (V). (7)

Factor de potencia ($\cos \phi$)

Se puede determinar como la relación de separación entre potencia aparente y potencia activa, es decir el coseno del ángulo que se forma en estas potencias originado la potencia reactiva, pero que es expresado como el valor de dicho ángulo, esto se puede entender claramente en el triángulo de potencias en la figura 1.4 (6).

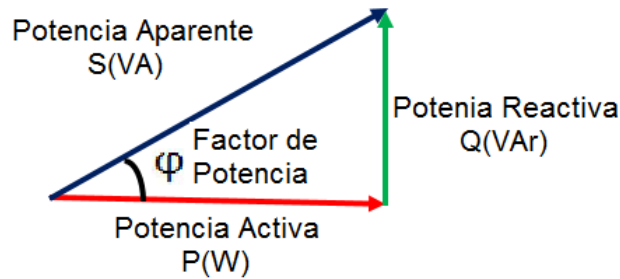


Figura 1.4 Triangulo de potencias

1.3.2 Mediciones eléctricas

1.3.2.1 Registrador de suministro o energía eléctrica modelo 1743 de Fluke

Los registradores de calidad de potencia 1743 de Fluke son aparatos de registro de la energía eléctrica sofisticados, sólidos y fáciles de usar diseñados para el electricista o el especialista en calidad de la potencia.

El registrador permite realizar un estudio de las propiedades de la red eléctrica a lo largo de un período especificado o monitorizar la calidad de la potencia para descubrir e informar perturbaciones en las redes de tensión baja y media, permite realizar la medición de los siguientes parámetros (8).

- Tensión eficaz de cada fase (media, mín, máx)
- Corriente eficaz de cada fase y neutra (media, mín, máx)
- Eventos de tensión (caídas, subidas, interrupciones)
- Potencia (kW, kVA, kVAR, factor de potencia PF, tangente de potencia)
- Energía, energía total
- Flicker (Pst, Plt)
- THD de la tensión
- THD de la corriente
- Armónicos de tensión hasta el 50o orden (no incluidos en la función P)
- Tensión de señalización de la red eléctrica
- Desequilibrio
- Frecuencia

Conexiones en sistemas trifásicos de 4 hilos (en estrella)

En un sistema eléctrico trifásico con neutro incluido que deriva de la conexión de un transformador en estrella en el secundario es necesario realizar, las mediciones entre línea y línea, pero también las mediciones de línea a neutro, que permitirá tener la medición detallada por lo cual se debe medirse como se muestra en la figura 1.5.

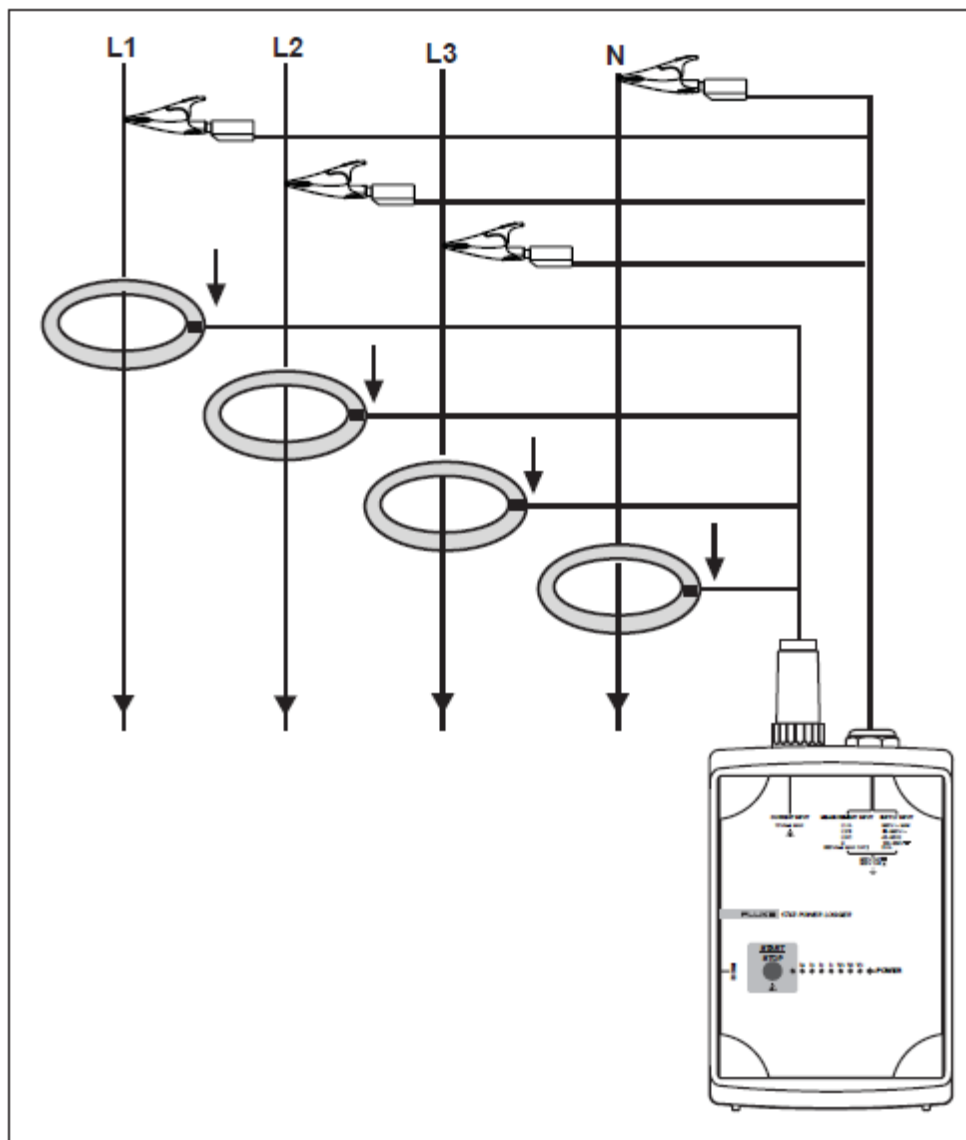


Figura 1.5 Registro en un sistema trifásico de 4 hilos (en estrella) (8)

1.3.2.2 Osciloscopio digital tektronixs TDS1102B

Los osciloscopios de almacenamiento digital de las series TDS1102b paquetes ligeros y pequeños de superficie de trabajo que se pueden utilizar para tomar medidas con referencia a tierra, y cualquier medida de señal de un circuito como se muestra en la figura 1.6. De las pruebas con el osciloscopio se puede obtener los siguientes parámetros eléctricos en tiempo real (9):

- Periodo.
- Frecuencia.
- Voltaje promedio.
- Voltaje Pico.
- Voltaje pico-pico.
- Desfase.
- Amplitud
- Se puede visualizar la forma de la onda y sus detalles entre otras mediciones.

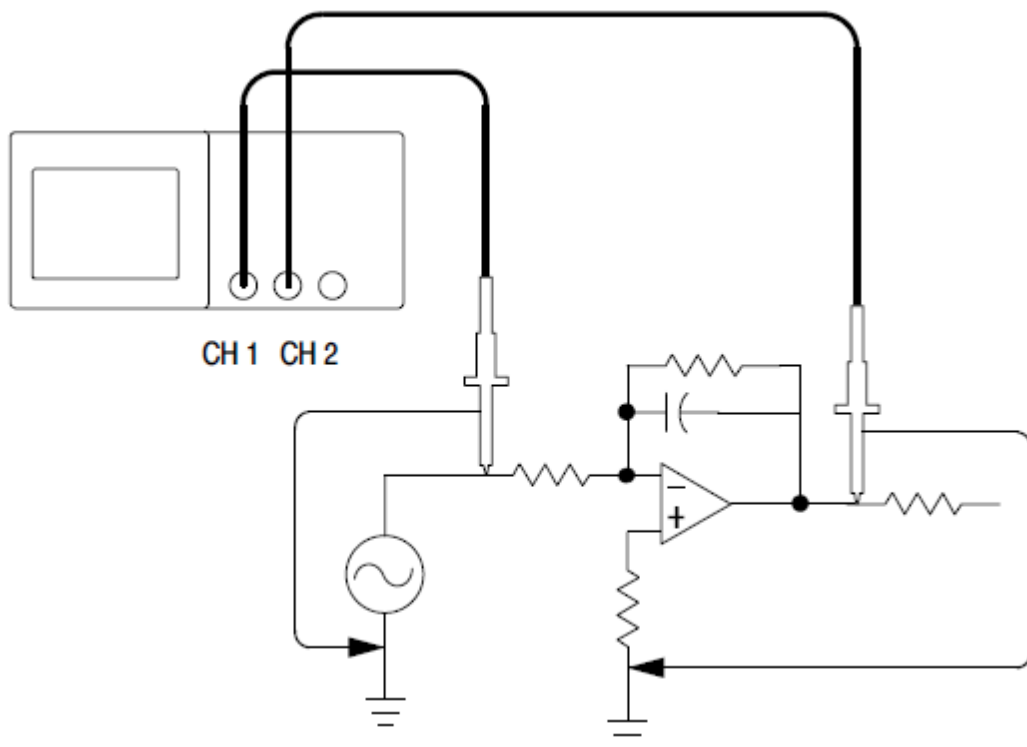


Figura 1.6 Ejemplo de medición con un osciloscopio (9)

1.3.2.3 Cámara Termográfica DT-9875

DT-9875 cámara termográfica está diseñada para hacer un trabajo más fácil, más productivo y eficaz. 160 × 120 de resolución a 50 Hz para la captura en tiempo real, una gran y brillante pantalla táctil con la barra de herramientas le ayuda a ajustar y analizar imágenes rápidamente. Rango de temperatura de -20 ° C a 400 ° C (-4 ° F a 752 ° F), 20x zoom continuo, imagen dentro de imagen, comentario de grabación de voz y anotaciones de texto en las imágenes. Marcador de punto caliente / fría busca automáticamente los puntos más calientes y más fríos. Además permite realizar la toma mediante infrarrojo y luz normal tal como si se tratara de una cámara normal como se ve en la figura 1.7 (10).



Alerta de color



Solo luz visible

Figura 1.7 Toma completa de una cámara termografica DT-9875 (10)

1.3.3 Análisis de calidad y la eficiencia de la energía eléctrica

1.3.3.1 Calidad de energía

La definición de la "calidad de la energía" según (11) es algo indeterminado. Pero que se puede definir como una ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario; esto concierne a la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente, la calidad de la energía es el resultado de una atención continua. En años recientes, esta atención ha sido de mayor importancia, debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales, por sí solas, resultan ser una causa de degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Podemos decir que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el lado del usuario y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de las compañías suministradoras de energía eléctrica, para lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad.

1.3.3.2 Eficiencia de energía eléctrica

Se entiende por eficiencia energética eléctrica, la reducción de las potencias y energías demandadas al sistema eléctrico sin que afecte a las actividades realizadas en edificios, industria o cualquier proceso de transformación.

Además, una instalación eléctricamente eficiente permite su optimización técnica y económica. Es decir, la reducción de sus costos técnica y económica de explotación. (12)

1.3.3.3 La forma de onda sinusoidal

Según (13) la forma de onda sinusoidal u onda seno es el tipo fundamental de corriente alterna (ca) y voltaje alterno. También se conoce como onda sinusoidal o, simplemente, senoide.

El servicio eléctrico provisto por la compañía de electricidad es en la forma de voltaje y corriente sinusoidales.

La figura 1.8 es una gráfica que muestra la forma general de una onda seno, la cual puede ser o una corriente alterna o un voltaje alterno. El voltaje (o la corriente) se muestra en el eje vertical y el tiempo (t) en el eje horizontal. Advierta cómo varía el voltaje (o la corriente) con el tiempo. Comenzando en cero, el voltaje (o la corriente) se incrementa hasta un máximo positivo (pico), regresa a cero, y luego se incrementa hasta un máximo negativo (pico) antes de regresar otra vez a cero, y así completa un ciclo.

Periodo (T) de una onda seno.

Una onda seno varía con el tiempo (t) de una manera que es definible. En el tiempo requerido para que una onda seno complete todo un ciclo se llama periodo como se muestra en la figura 1.8 representado con el número 4 (13).

Frecuencia de una onda seno

La frecuencia (f) es el número de ciclos que una onda seno completa en un segundo.

Mientras más ciclos se completan en un segundo, más alta es la frecuencia. La frecuencia (f) se mide en unidades de Hertz (Hz) equivale a un ciclo por segundo. (13)

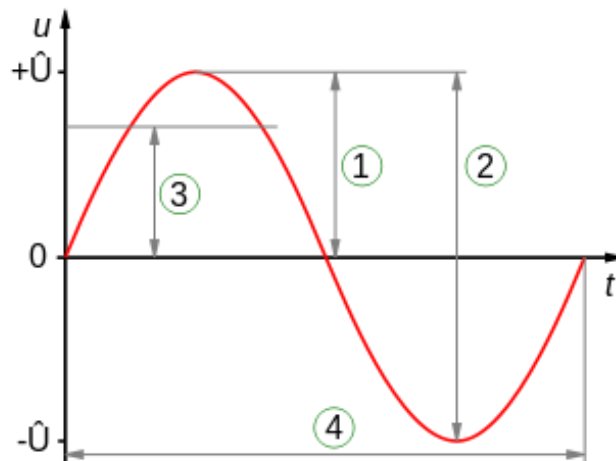


Figura 1.8 Medición de un periodo (13).

Donde:

1 es valor pico.

2 es valor pico a pico.

3 es valor RMS

4 es periodo

1.3.3.4 Valores sinusoidales de voltaje y corriente

Según (13) cuatro formas de expresar el valor de una onda seno en función de su magnitud de voltaje o de su magnitud de corriente son los valores instantáneos pico, pico a pico, rms, y promedio.

Valor pico (Vp)

El valor pico de una onda seno es el valor de voltaje (o corriente) en el punto máximo (pico) positivo o negativo con respecto a cero como se muestra en la figura 1.8 con el número 1.

Valor pico a pico (Vpp)

El valor pico a pico de una onda seno de voltaje o la corriente es desde el pico positivo hasta el pico negativo. Siempre es dos veces el valor pico como se muestra en la figura 1.8 con el número 2.

Valor RMS

El término rms proviene de las siglas de root mean square, y significa raíz cuadrada de la media de los cuadrados. La mayoría de los voltímetros muestran voltaje rms también como valor efectivo, de un voltaje sinusoidal ($V_p = 1.414V_{rms}$) en la figura 1.8 se muestra el punto rms con el número 3.

Valor promedio

El valor promedio de una onda tomado durante un ciclo completo siempre es cero porque los valores positivos (sobre el cruce por cero) neutralizan los valores negativos (debajo del cruce por cero).

Para que sea útil en ciertos propósitos, tales como tipos de medición de voltajes encontrados en fuentes de potencia, el valor promedio de una onda seno se define durante medio ciclo y no durante un ciclo completo. El valor promedio es el área total debajo de la curva de medio ciclo. (13)

1.3.3.5 Disturbios en sistemas eléctricos.

Sobretensiones transitorias. Estas se presentan en forma de impulsos de voltaje de corta duración, superpuestos en la señal de alimentación y frecuentemente intermitentes, con una duración menor a dos milisegundos. Los impulsos pueden tener su origen en las descargas atmosféricas, en maniobra de interruptores y al conectar o desconectar capacitores para la corrección del

factor de potencia. Estos constituyen los llamados "picos" de voltaje como se muestra en la figura 1.9 (11)

Interrupciones de energía. Las interrupciones instantáneas de energía, provocadas por una condición de falla del aislamiento después de una operación exitosa del equipo de restablecimiento pueden tener una duración de hasta varios ciclos. La Figura 1.10 muestra la curva de tolerancia de variaciones de voltaje típicas de equipos de cómputo. Aquí puede apreciarse que una disminución de voltaje cero, es decir, una interrupción puede ser tolerada por una computadora durante un tiempo no mayor a medio ciclo (11).

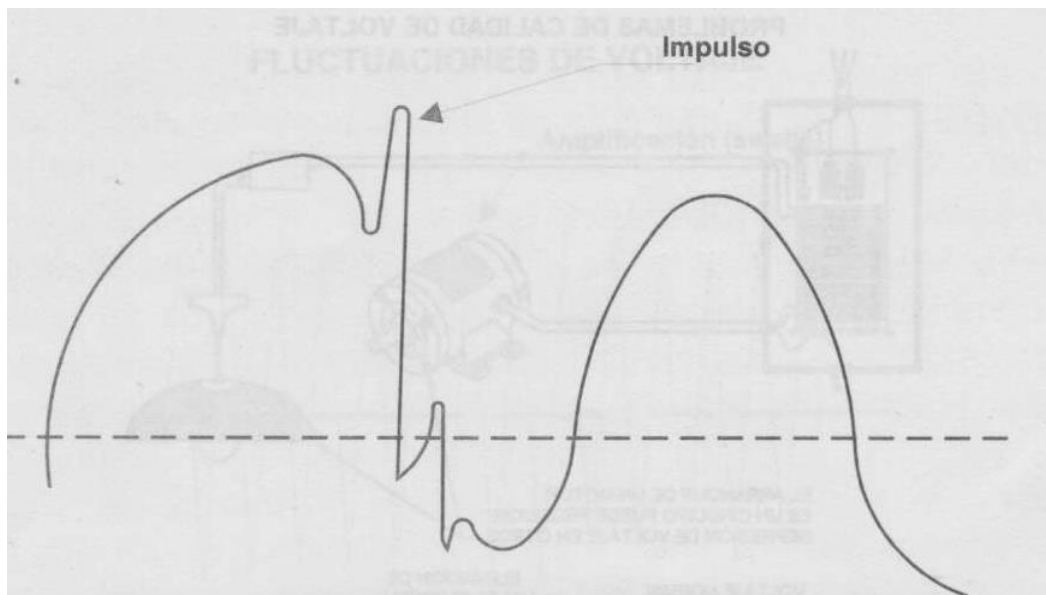


Figura 1.9 Sobretensiones transistorizadas (11).

Las interrupciones temporales de energía, generalmente ocurren por algún disturbio en el sistema eléctrico (fallas en el sistema de potencia, accidentes que involucran la red de distribución, fallas de transformadores o generadores) o por sobrecargas en la red de baja tensión. Su duración puede ser desde algunos milisegundos hasta varias horas (Figura 1.11).

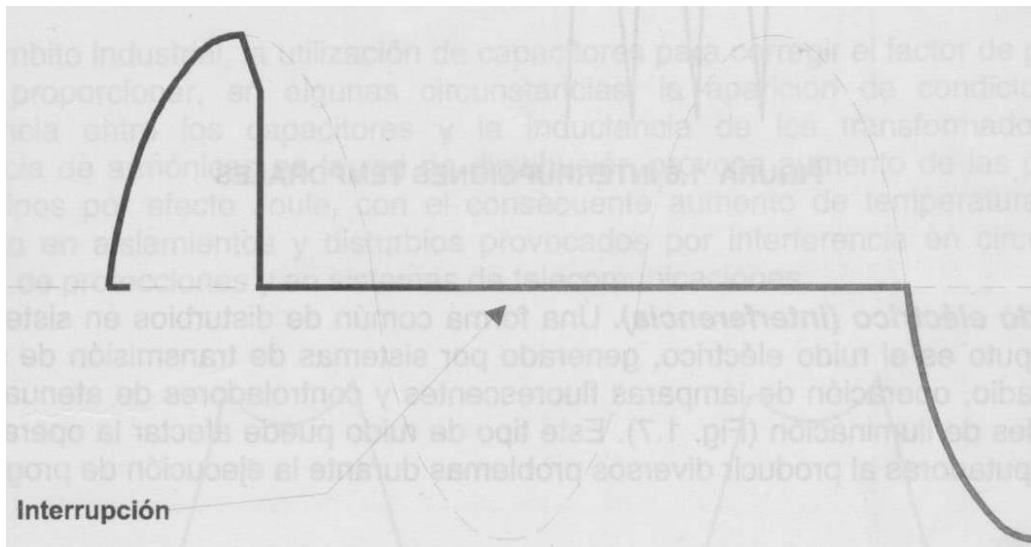


Figura 1.10 Interrupciones instantáneas (11).

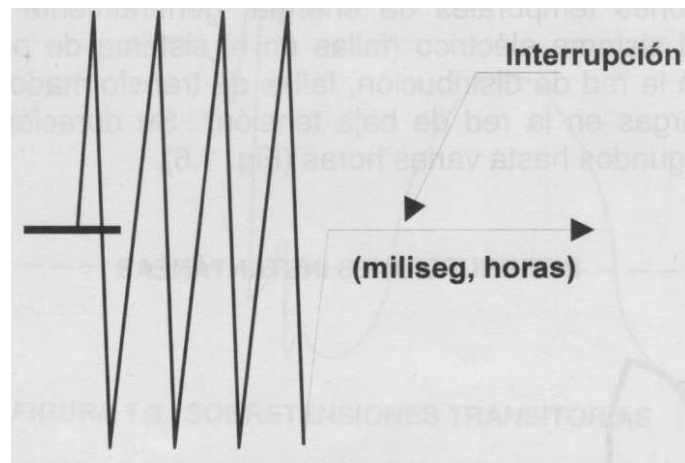


Figura 1.11 Interrupciones temporales (11)

Ruido eléctrico (interferencia). Una forma común de disturbios en sistemas de cómputo es el ruido eléctrico, generado por sistemas de transmisión de señales de radio, operación de lámparas fluorescentes y controladores de atenuación de niveles de iluminación (Fig. 1.12). Este tipo de ruido puede afectar la operación de computadoras al producir diversos problemas durante la ejecución de programas. (11).

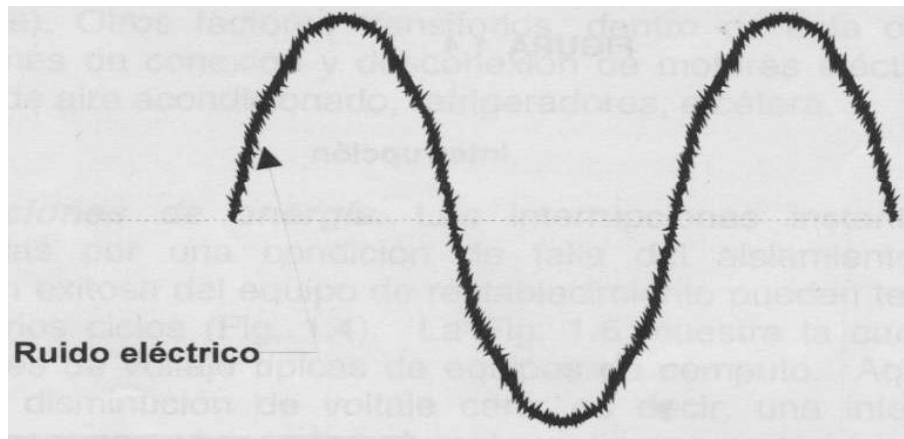


Figura 1.12 Ruido Eléctrico (11)

1.3.3.6 Perturbaciones de las redes eléctricas

El desequilibrio en el sistema trifásico.

Según (14) el sistema trifásico de tensión o corriente está perfectamente equilibrada cuando sus tres fases (RST) tienen un desplazamiento angular de 120° entre ellas y los módulos de sus vectores tienen la misma magnitud como se puede observar en la figura 1.13

Cuando el sistema esta desequilibrado puede ocurrir que los módulos vectoriales de cada una de las fases sean distintos, que el espacio angular (desfases) entre dos vectores sea diferente de 120° , o que ocurran ambas cosas a la vez.

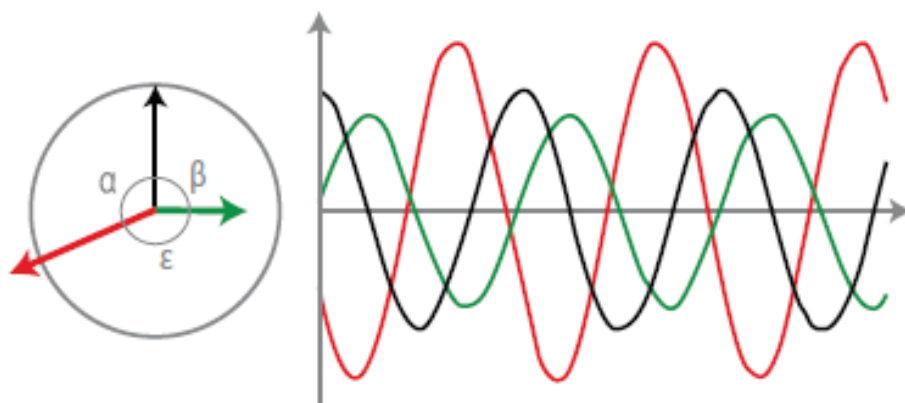


Figura 1.13 Sistemas trifásicos desequilibrados (14).

1.3.3.7 Los armónicos.

El matemático francés Fourier, define este fenómeno que “cualquier señal periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales sinusoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia” (14).

THDV: Factor de distorsión armónica total de voltaje

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) de voltaje está definido como:

$$THDv = \sqrt{\frac{\sum_{i=2..40} V^2_i}{V^2_n}} \times 100\% \quad 1.1$$

Donde:

V^2_i = Es el Valor eficaz (RMS) de la tensión armónica “i” (para i=2 ... 40) expresada en Voltios.

V^2_n = Es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

THDI: Factor de distorsión armónica total de corriente

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) de corriente está definido como:

$$THDi = \sqrt{\frac{\sum_{i=2..40} I^2_i}{I^2_n}} \times 100\% \quad 1.2$$

Donde:

I^2_i = Es el Valor eficaz (RMS) de la corriente armónica “i” (para i=2 ... 40) expresada en amperios.

I^2_n = Es la corriente nominal del punto de medición expresada en amperios

La tercera armónica Según (14) la onda fundamental tiene una amplitud igual a tres veces la 3° armónica y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante como se muestra en la figura 1.14

La 3ª armónica tiene la particularidad de que su frecuencia es múltiplo eléctrico de la frecuencia fundamental, y tiene secuencia cero, por lo que en el sistema trifásico de 4 hilos (R, S, T, N) entra en el anillo con las tres fases (R, S, T) desplazándose por el neutro.

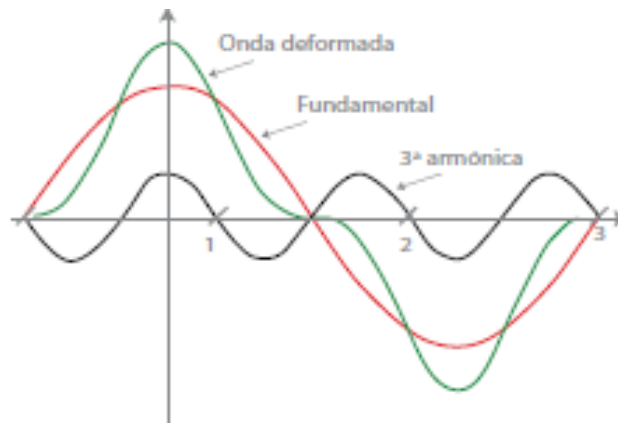


Figura 1.14 Tercera Armónica (14)

La quinta armónica.

Según (14) igual que en el caso anterior la onda fundamental tiene una amplitud igual a cinco veces la 5ª armónica y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante como se muestra en la figura 1.15. La 5ª armónica, a diferencia de la tercera armónica, no es múltiplo eléctrico de la frecuencia fundamental por lo que se desplaza por las tres fases R, S, T y es la primera armónica que afecta los condensadores y el sistema trifásico al igual que la 7ª, 11ª.

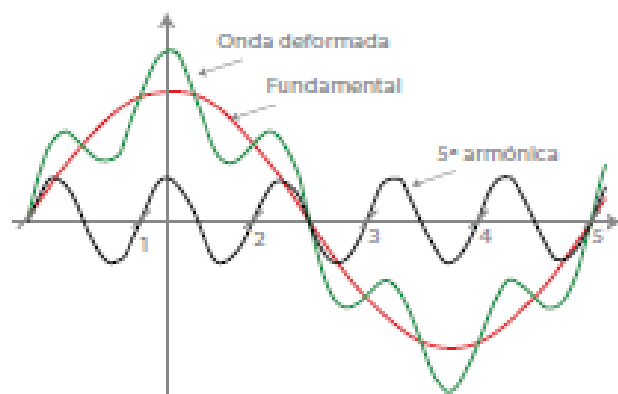


Figura 1.15 La quinta armónica. (14)

El orden de los armónicos.

Partiendo que la frecuencia fundamental es 60 Hz, el número de orden determina el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la fundamental: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7....orden natural de los números (14).

$$n = \frac{f_n}{f_{60}} \quad 1.3$$

Donde:

n = Numero de armónico.

F_n = Frecuencia del armónico.

F₆₀ = Frecuencia fundamenta.

Origen de los armónicos.

Entre otros muchos, los principales causantes de los armónicos son.

- Las reactancias electromagnéticas y electrónicas de alumbrado.
- Equipos de soldadura eléctrica.
- Equipos electrónicos conectados a la red
- Las reactancias electromagnéticas para lámparas de descarga.
- Arrancadores electrónicos.
- Variadores de velocidad.

Efectos de los armónicos en la red eléctrica

Según (15) los efectos de los armónicos en la red eléctrica son:

- Aumenta la potencia a transportar, empeorando el factor de potencia de la red.
- Disparo intempestivo de interruptores automáticos.
- Sobrecargas en los conductores.
- Vibraciones y sobrecargas en las máquinas.
- Creación de inestabilidad en el sistema eléctrico.
- Mal funcionamiento de los relés de protección.

- Disminución de impedancia de los condensadores ($X_c=1/w.C$), lo que da lugar al fallo de la batería autorregulada instalada para la corrección del factor de potencia cuando aparece el fenómeno resonante $X_L=P_c$.
- Mediciones erróneas en equipos de medida.
- Perturbaciones en los equipos de control.

A. Efecto en cables y conductores: al circular corriente directa a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto Joule. A medida que aumenta la frecuencia de la corriente que transporta el cable (manteniendo su valor rms igual al valor de corriente directa) disminuye el área efectiva por donde ésta circula puesto que la densidad de corriente crece en la periferia exterior (Figura 1.16), lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor. (15)



Figura 1.16 Densidades de corriente en un mismo conductor (15)

B. Efecto en transformadores: la mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (50 y 60 Hz), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil (15).

Pérdidas sin carga o de núcleo: Aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimos.

Pérdidas I²R: si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel.

C. Pérdidas por corrientes de Eddy: estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no senoidal (y por lo tanto en también en su temperatura). Estas pérdidas se pueden expresar como: (15)

$$Pe = Pe, R \sum_{h=1}^{h=hm} \left[\frac{Ih}{IR} \right]^2 h^2 \quad 1.4$$

Donde:

h = armónica

Ih = corriente de la armónica h, en amperes

IR = corriente nominal, en amperes

Pe, R = pérdidas de Eddy a corriente y frecuencia nominal

Pérdidas adicionales: Estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, y dependiendo del tipo de transformador contribuirán o no en la temperatura más caliente del devanado. Se considera que varían con el cuadrado de la corriente y la frecuencia.

$$Pad = Pad, R \sum_{h=1}^{h=hm} \left[\frac{Ih}{IR} \right]^2 h^2 \quad 1.5$$

Donde:

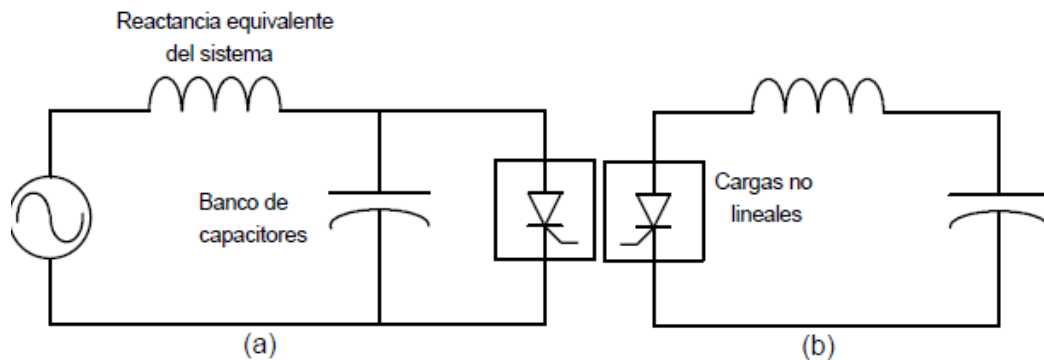
h = armónica

Ih = corriente de la armónica h, en amperes

IR = corriente nominal, en amperes

Pad, R = pérdidas adicionales a corriente y frecuencia nominal.

D. Efecto en los bancos de capacitores: el principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimenten cargas no lineales es la resonancia tanto serie como paralelo como se muestra en la figura 1.17. Existirá entonces al menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia. (15).



a) Resonancia en paralelo b) Resonancia en serie

Figura 1.17 Resonancia en los circuitos (15)

1.3.3.8 Transitorios (cambios repentinos en las condiciones de la red) Impulso

Según (11) es un cambio repentino de potencia a una frecuencia distinta de la fundamental, es unidireccional en su polaridad (+ o -). Normalmente son caracterizadas por sus tiempos de cresta y cola, la causa más común son las descargas atmosféricas. Ellos involucran altas frecuencias, por esto son amortiguados rápidamente por la componente resistiva del circuito y no son conducidos a largas distancias desde su fuente. Pueden excitar la resonancia de los circuitos y producir transitorios oscilatorios.

Oscilatorios

Son transitorios cuyo valor instantáneo de voltaje cambia rápidamente de polaridad. Siempre son ocasionados por maniobra de equipos, tales como desconexión de líneas, bancos de capacitores; cada uno de ellos tiene un rango de tiempo y de frecuencia característica, tal como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clasificación de los transitorios oscilatorios.

CATEGORÍA	MAGNITUD	DURACIÓN TÍPICA
Baja frecuencia	<5KHZ	0.3- 50 ms
Media frecuencia	5-500KHz	20 us
Alta frecuencia		5 us

Fuente: (11)

En ambos casos, debido a que involucran cantidades grandes de energía, ya sea corriente o voltaje, su efecto es destructivo.

Interrupciones sostenidas

Son los decrementos de voltaje de alimentación por un período de tiempo que excede a 1 minuto, regularmente son fallas de naturaleza permanente, que es necesario la intervención manual para su restauración.

Desbalance de voltaje

Como se sabe, los sistemas eléctricos son trifásicos y, debido a la operación misma, regularmente su funcionamiento no es balanceado, lo cual acarrea problemas por sobrecalentamiento de alguna de las fases.

1.3.3.9 Fluctuaciones de voltaje

Son variaciones sistemáticas en el voltaje, o bien, una serie de cambios aleatorios en el voltaje, los cuales regularmente no exceden el rango de 0.95-1.05 pu. Comúnmente, se expresan como un por ciento del valor de la fundamental. Este efecto es provocado por cargas que presentan variaciones continuas y rápidas de corriente, especialmente en la componente reactiva. Los arcos de fundición, así como las soldadoras, son la causa más común de las variaciones de voltaje en el sistema de transmisión y distribución. (11)

1.3.3.10 Variaciones en la frecuencia.

La frecuencia del sistema, en cualquier instante, está definida por la relación entre carga y la capacidad disponible de generación, si este balance dinámico

cambia, se presentan pequeños cambios en la frecuencia. La duración y magnitud de los cambios depende de las características de la carga y de la respuesta del sistema de generación ante dichos cambios (11)

1.3.3.11 Los costos para la solución del problema de calidad de la energía.

Según (11) los costos asociados con la solución o reducción de problemas de la calidad de la energía pueden variar, desde los costos reducidos como los asociados a revisar las conexiones de flojas de alambrado, hasta los muy altos, tales como comprar e instalar una fuente de potencia interrumpible o asegurando la compatibilidad de los circuitos de distribución.

Los costos asociados con la sensibilidad del equipo, emisión de disturbios e instalación suelen ser incluidos en la compra de cualquier producto eléctrico, por ejemplo, equipos productores de armónicas tienen incorporados sus propios filtros, que por supuesto tienen costos asociados.

Es difícil determinar qué tanto se debe pagar por la reducción o eliminación de problemas de calidad de la energía. Para evitar problemas costosos, existen algunas medidas preventivas que puede tener el usuario. Algunos de los costos específicos, adicionales al precio de compra de un equipo y que deben ser considerados en la adquisición de cualquier producto eléctrico, son los siguientes:

1.3.3.12 Instalaciones eléctricas con conexión a tierra

Muchas de las variaciones que ocurren en la calidad del suministro de energía eléctrica ocurren dentro de las instalaciones de los propios usuarios y están relacionadas con problemas de alambrado y conexiones a tierra, por lo que es necesario hacer una revisión de los mismos.

cuando se trata de equipo sensible, es necesario ir más allá de los requerimientos de normas, para considerar los requerimientos de un sistema que también debe minimizar el impacto de las armónicas, los transitorios y el ruido

sobre el equipo conectado, estas son algunas de las razones para una conexión a tierra. (11)

- La seguridad personal
- Conexión para asegurar la operación de dispositivos de protección
- Control de ruidos

1.3.4 Norma técnica para la calidad de la energía eléctrica

1.3.4.1 Normas nacionales

El 1997-10-09.- D. S. N° 020-97-EM.- Aprueban la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (1997-10-11). Incluye modificaciones según Decreto Supremo N° 009-99-EM (1999-04-11), Decreto Supremo N° 013-2000-EM (2000-07-27), Decreto Supremo N° 040- 2001-EM (2001-07-17), Decreto Supremo 004-2006-EM (2006-01-06) y Decreto Supremo 026-2006-EM (2006-04-21). De (16) esta norma se tomara las siguientes disposiciones según (16).

Tolerancia de tensión: Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las Etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos.

Tolerancias de frecuencia: Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión, son:

- Variaciones Sostenidas (Δf_k (%)): $\pm 0.6 \%$.
- Variaciones Súbitas (VSF'): ± 1.0 Hz.
- Variaciones Diarias ($IVDF'$): ± 600.0 Ciclos.

Flícker: El Índice de Severidad por Flícker (P_{st}) no debe superar la unidad ($P_{st} \leq 1$) en Muy Alta, Alta, Media ni Baja Tensión. Se considera el límite: $P_{st}'=1$ como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Tensiones Armónicas: Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del

punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') indicados en la siguiente tabla. Para efectos de esta Norma, se consideran las armónicas comprendidas entre la dos (2^o) y la cuarenta (40^o), ambas inclusive

Tabla 1.2 Nivel de los armónicos

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA ó THD	TOLERANCIA $ V_i' $ ó $ THD' $ (% con respecto a la tensión nominal del punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
(Armónicas impares no múltiplos de 3)		
3)	2.0	6.0
5	2.0	5.0
7	1.5	3.5
11	1.5	3.0
13	1.0	2.0
17	1.0	1.5
19	0.7	1.5
23	0.7	1.5
25	$0.1 + 2.5/n$	$0.1 + 12.5/n$
Mayores de 25		
(Armónicas impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2

(Armónicas pares)		
2	1.5	2.0
4	1.0	2.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8

Fuente: (16)

1.3.5 Compensación de la energía y plan tarifario

1.3.5.1 Principio de compensación de energía reactiva

La potencia aparente en (kVA) en un circuito de corriente alterna puede ser resuelto en dos componentes: la componente en fase, la cual representa la potencia útil y la componente reactiva, la cual es trabajo no útil. La suma fasorial de las dos son los kVA conducidos por la fuente.

El coseno del ángulo de fase entre los kVA y los kW representa el factor de potencia de la carga, el cual se muestra en el diagrama de fasores en la figura. (11)

1.3.5.2 Ventajas de la compensación

Según (17) las ventajas de la compensación son:

Reducción de los recargos

Las compañías eléctricas aplican recargos o penalizaciones al consumo de energía reactiva con objeto de incentivar su corrección, ya que al disminuir la corriente, disminuye las pérdidas ($P=I^2R$).

Reducción de las caídas de tensión

La instalación de condensadores permite reducir la energía reactiva transportada disminuyendo las caídas de tensión en la línea.

Reducción de la sección de los conductores

Al igual que en el caso anterior, la instalación de condensadores permite la reducción de la energía reactiva transportada, y en consecuencia es posible, a nivel de proyecto, disminuir la sección de los conductores a instalar.

Disminución de las pérdidas

La instalación de condensadores permite reducir las pérdidas por efecto Joule que se producen en los conductores y transformadores.

Aumento de la potencia disponible en la instalación

La instalación de condensadores permite aumentar la potencia disponible en una instalación sin necesidad de ampliar los equipos como cables, aparatos y transformadores. Esto es consecuencia de la reducción de la intensidad de corriente que se produce al mejorar el factor de potencia.

1.3.5.3 Corrección de factor de potencia

Según (11) para obtener la mejor ventaja económica posible de ambas potencias eléctricas (activa y reactiva), las "plantas generadoras y plantas consumidoras" deberían ser operadas con alta eficiencia. Para lograr esto, es esencial tener un alto factor de potencia en todo el sistema.

Una gran cantidad de máquinas eléctricas usadas en la industria tienen unidas un bajo factor de potencia, el cual no se puede evitar. Esto significa que las compañías suministradoras tienen que generar mucho más corriente que la requerida teóricamente, en consecuencia, los transformadores y cables tienen que soportar esta corriente extra. Cuando el factor de potencia total de la carga de una estación generadora es bajo, el sistema es ineficiente y el costo de la electricidad es alto. Para superar esto, y al mismo tiempo lograr que los generadores y cables no estén sobrecargados con corrientes de menor potencia, las compañías suministradoras frecuentemente ofrecen bonificaciones para consumidores cuyo factor de potencia es alto o imponen penalidades para factor de potencia bajo.

Tabla 1.3 Valores típicos de factor de potencia

INDUSTRIA	FACTOR DE POTENCIA
Textil	0.65 / 0.75
Química	0.75 / 0.85
Máquina de soldar	0.40 / 0.65
Soldadoras de arco	0.35 / 0.40
Horno de arco	0.70 / 0.90
Horno con núcleo de inducción y radiadores	0.15 / 0.40
Industria cementera	0.78 / 0.80
Fábrica de ropa	0.35 / 0.60
Cerveceras	0.75 / 0.80
Industrias destiladoras	0.60 / 0.85
Industrias mineras	0.65 / 0.80
Industria ladrillera	0.60 / 0.75
Fundidoras	0.50 / 0.70
Moldeadoras de plástico	0.60 / 0.75
Imprentas	0.55 / 0.70
Excavadoras	0.50 / 0.70
Marchas de molinos	0.30 / 0.75

Fuente: (11)

1.3.5.4 Cálculo de potencia reactiva a instalar

Esta potencia reactiva de compensación a instalar se puede determinar mediante los recibos de facturación, medición del factor de potencia o cálculo de las potencia teniendo en cuenta en factor de potencia al que se quiere llegar o alcanzar que puede ser general de toda una red o individual de cada carga de esta red. En la figura 1.18 se muestra el triángulo de potencias antes y después de compensar.

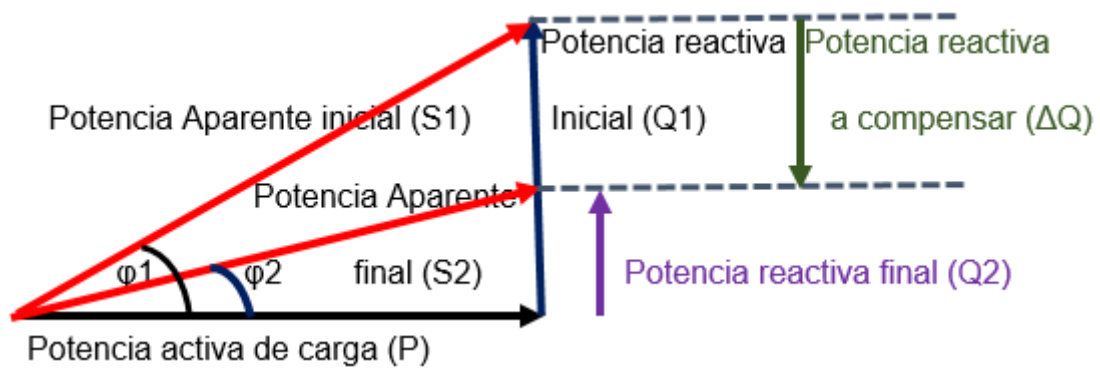


Figura 1.18 Representación gráfica de compensación de energía reactiva (del autor)

$$Q1 = P \times \operatorname{tg} \phi 1 \quad 1.6$$

Donde:

Q1 = Potencia reactiva inicial

P = Potencia activa

Tang ϕ 1 = Tangente del ángulo inicial

$$Q2 = P \times \operatorname{tg} \phi 2 \quad 1.7$$

Donde:

Q2 = Potencia reactiva final

P = Potencia activa

Tang ϕ 2 = Tangente del ángulo a lograr para la compensación

$$\Delta Q = Q1 - Q2 \quad 1.8$$

$$\Delta Q = P \times (\operatorname{tg} \phi 1 - \operatorname{tg} \phi 2) \quad 1.9$$

Donde:

ΔQ = Potencia reactiva a compensar

P = Potencia activa

Tangφ1 = Tangente del ángulo inicial

Tangφ2 = Tangente del ángulo final

1.3.5.5 Elección de la capacidad del condensador

En toda compensación luego de determinar la cantidad de energía reactiva a compensar se debe determinar el valor de los condensadores a instalar.

$$C = \frac{Q}{V^2 \omega} \quad 1.10$$

Donde:

C = Capacidad en F (faradios)

Q = Capacidad reactiva

ω = Frecuencia angular (2πF)

F = frecuencia en Hz

1.3.5.6 Métodos de compensación (17)

Compensación global

Este tipo de compensación requiere que la batería de condensadores se instale en la barra principal, salida de baja tensión calculado de manera general tomando en cuenta las variaciones de la potencia reactiva en la mayoría de las aplicaciones debe llevar un controlador de secuencia de pasos de activación de capacidad variable según como el consumos de carga eléctrica.

Compensación parcial

En este tipo de compensación, es por cargas puntuales donde se verifique que sea generadora de energía reactiva o áreas donde se quiere corregir el factor de potencia.

Compensación individual

La corrección de factor de potencia se realiza en cada carga inductiva es decir el banco de condensadores u condensador está conectado directamente a los bornes de la carga inductiva.

Compensación mixta

Este tipo de compensación puede darse tanto en cargas puntuales, como a nivel de áreas, talleres y a la vez tener una compensación global.

1.3.5.7 Tipos de compensación (17)

Compensación fija

Es aquella en la que suministramos la potencia reactiva según las necesidades de la instalación. Debe utilizarse siempre con una batería de condensadores u condensador fijo durante todo el proceso de compensación de energía.

Compensación variable

Está determinada por la variación de las cargas inductivas a compensar conectando cargas reactivas de compensación a través de un controlador automático que permite corregir un factor de potencia variable.

1.3.5.8 Tiempo de recuperación de la inversión (T.R.I)

Es el tiempo necesario para que se estima para recuperar la inversión de la implementación de un banco de condensadores (18).

$$T.R.I = \frac{C.T.I}{BNF} \quad 1.11$$

Donde:

T.R.I =Tiempo de recuperación de la inversión

C. T.I = Costo total de la inversión

BNF = Beneficio o ahorro mensual

1.3.5.9 Tarifas eléctricas

La Norma de Opciones Tarifarias vigente está dada a través de la Resolución Directoral N° 154-2012-EM/DGE, Establecen Sectores de Distribución Típicos para el periodo noviembre 2013- octubre 2017 y otras disposiciones para la regulación de tarifas de distribución eléctrica. (19).

1.3.5.10 Usuarios en media tensión (MT) y baja tensión (BT)

Según (19) son usuarios en media tensión (MT) aquellos que están conectados con su empalme a redes cuya tensión de suministro es superior a 1 kV (kV = kilovoltio) y menor a 30 kV.

Son usuarios en baja tensión (BT) aquellos que están conectados a redes cuya tensión de suministro es igual o inferior a 1 kV.

En caso no cuenten con la medición adecuada en media tensión, los usuarios en MT podrán solicitar la medición de sus consumos en baja tensión. En este caso, se considerará un recargo por pérdidas de transformación, equivalente a un 2% para el sector típico 1 y de 2,5% para los otros sectores, aplicable al monto total consumido en unidades de potencia y energía. La empresa distribuidora podrá proponer a OSINERG un valor de recargo por pérdidas de transformación promedio distinto al indicado, el cual deberá sustentarse con el promedio de las mediciones de todos sus clientes de Media Tensión que se encuentran medidos en Baja Tensión, para un periodo mínimo de un año.

1.3.5.11 Opciones tarifarias (19)

La siguiente tabla muestra las opciones tarifarias que permitirán realizar una buena evaluación de la facturación.

A continuación se describirá los cargos de facturación en los cuales se utiliza un modelamiento matemático para calcularlo ya que los otros son definidos con cargos fijos por la empresa que suministra la energía eléctrica

MT2

Esta opción tarifaria está dirigida para aquellos usuarios con consumos mínimos de demanda en el periodo de horas punta

Facturación del cargo por potencia por uso de las redes de distribución en horas punta

Toma en cuenta el promedio de las dos más altas demandas máximas de los últimos seis meses en el periodo de horas punta, se incluye el mes facturado:

$$PURDHP = \frac{PMHP1 + PMHP2}{2} \quad 1.12$$

Donde:

PURDHP = Potencia por Uso de Redes de Distribución en Horas Punta

PMHP1 = Potencia 1 más alta durante la hora punta

PMHP2 = Potencia 2 más alta durante la hora punta

Al valor resultante del cálculo matemático se le multiplica por el precio definido para este cargo.

Facturación por exceso de potencia activa por uso de las redes de distribución en horas fuera de punta

Para determinar el exceso de potencia a facturar por uso de las redes de distribución en horas fuera de punta, se resta el valor de la potencia por uso de distribución de horas fuera de punta menos la potencia por uso de redes de distribución a facturar en horas de punta. El exceso resultante será aplicable cuando el resultado sea positivo.

$$PURDHFP = \frac{PMHFP1 + PMHFP2}{2} \quad 1.13$$

Donde:

PURDHP = Potencia por Uso de Redes de Distribución en Horas fuera de punta

PMHP1 = Potencia 1 más alta durante la hora fuera de punta

PMHP2 = Potencia 2 más alta durante la hora fuera de punta

$$EPURDHFP = PURDHFP - PURDHP \quad 1.14$$

Donde:

EPURDHP = Exceso de Potencia por Uso de Redes de Distribución en Horas Fuera de punta

PURDHP = Potencia por Uso de Redes de Distribución en Horas fuera de punta

PURDHP = Potencia por Uso de Redes de Distribución en Horas Punta

Al valor resultante del cálculo matemático se le multiplica por el precio definido para este cargo

MT3

Esta opción tarifaria está dirigida para aquellos usuarios cuyos consumos de potencia se da durante las 24 horas al día o aquellos usuarios cuyo turno de trabajo empieza en horas de la mañana y acaban pasadas las 18:00 h.

Esta tarifa considera precios diferenciados para las facturaciones de potencia, según si los usuarios se encuentran calificados como presentes en punta o presentes en fuera de la punta

Calificación tarifaria

La calificación tarifaria del usuario será efectuada por la concesionaria según el grado de utilización de la potencia en horas punta o fuera de punta del usuario

$$\text{Calificación tarifaria} = \frac{EAHP_{mes}}{M.D. mes \times \#HP_{mes}} \quad 1.14$$

EAHP mes = Energía activa consumida en horas punta del mes

M.D. mes = Máxima demanda leída del mes

#HP mes = Número de horas punta del mes

Si el resultado es $\geq 0,5$, el usuario es considerado como cliente presente en punta.

Si el resultado es $< 0,5$, el usuario es considerado como cliente fuera de punta.

Facturación del cargo por potencia por uso de las redes de distribución

Se determina tomando el promedio de las dos más altas demandas máximas de los últimos seis meses en horas punta o fuera de punta, incluyendo el mes que se factura

$$PURD = \frac{PMHP + PMHFP}{2} \quad 1.15$$

Donde:

PURD = Potencia por uso de redes de distribución

PMHP = Potencia más alta durante la hora punta

PMHFP2 = Potencia más alta durante la hora punta

Al valor resultante del cálculo matemático se le multiplica por el precio definido para este cargo

MT4

Esta opción tarifaria está dirigida para aquellos usuarios cuyos consumos de energía es intensivo en el periodo de horas punta

Calificación tarifaria

La calificación tarifaria del usuario, será efectuada por la concesionaria según el grado de utilización de la potencia en horas de punta o fuera de punta del usuario (se aplica en mismo cálculo matemático que para MT3).

Facturación del cargo por potencia por uso de las redes de distribución

Se determina tomando el promedio de las dos más altas demandas máximas de los últimos seis meses en horas punta o fuera de punta, incluyendo el mes que se factura (se aplica en mismo cálculo matemático que para MT3) (16).

1.4 Formulación del problema

¿De qué manera se puede obtener una calidad de energía eléctrica de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y una eficiencia del 99% en el sistema eléctrico 380/220 V en el local del SENATI Trujillo?

1.5 Justificación del estudio

Una excelente calidad de energía en el sistema eléctrico en los laboratorios del SENATI permitirá realizar las prácticas de laboratorio completas y precisas formando a los técnicos, con calidad del mismo modo un óptimo suministro de alimentación a todos los equipos. Ante lo expuesto una mala calidad de energía

en el sistema eléctrico imposibilita un buen desempeño de la formación profesional y daños a los equipos e incrementa los gastos por cambio de equipos y consumo de energía.

➤ **Relevancia tecnológica**

Esta investigación se justifica en aspectos tecnológicos porque utilizaremos analizadores de redes, osciloscopio, cámara termografica que nos permitirá analizar los problemas y plantear mejora incluyendo las recomendaciones necesarias.

➤ **Relevancia económica**

En este aspecto la investigación es importante porque al mejorar la calidad y la eficiencia de energía en el sistema eléctrico elevaremos la calidad de nuestra formación, evitaremos el daño a los equipos ya sea de laboratorios de electrotecnia, metal mecánica y equipos de aulas tecnológicas, al mismo tiempo se reducirá la facturación mensual de nuestro consumo de energía.

➤ **Relevancia científica**

En el presente trabajo no aporta nuevos conocimientos pero para este caso se hará el estudio completo de la calidad y eficiencia de energía eléctrica, por lo que este estudio servirá como referencia de estudios posteriores para alumnos del Senati Trujillo u otros.

➤ **Relevancia social**

Las mejoras obtenidas con este estudio contribuirá al mejorar la calidad de servicio a nuestros usuarios y que estos mejoran su calidad de vida con un optima formación académica y contribuyan al desarrollo de su localidad y como consecuencia de nuestro país.

1.6 Hipótesis

Registrando los datos de voltaje, flicker, THDV, THDI y factor de potencia en las mediciones eléctricas en los alimentadores de los talleres de SENATI-Trujillo y haciendo un análisis de las mediciones registradas se puede obtener una calidad

de energía eléctrica de acuerdo al código nacional de electricidad y una eficiencia de 99%.

1.7 Objetivos

1.7.1 General

Analizar el sistema eléctrico, 380/220v, para mejorar la calidad y eficiencia en el local del SENATI-Trujillo

1.7.2 Específicos

- Realizar una recopilación general de todos los parámetros eléctricos de las instalaciones del SENATI.
- Realizar mediciones de parámetros eléctricos existentes.
- Analizar las mediciones eléctricas para identificar las fallas en la calidad y eficiencia de la energía.
- Determinar la calidad de energía eléctrica de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
- Determinar la compensación requerida y la evaluación del plan tarifario
- Proponer el plan de acción para mejorar la calidad y eficiencia de energía eléctrica del SENATI

II. METODOLOGÍA

2.1 Diseño de investigación

Cuasi experimental

En esta investigación se recogerán todos los datos, se medirán y analizarán las variables para luego plantear la mejora.

$$B: B1 \rightarrow X \rightarrow B2$$

1.16

Donde:

B = Sistema eléctrico de, 380/220V, del SENATI Trujillo.

B1 = Situación actual del sistema eléctrico de utilización del SENATI Trujillo.

X = Medición y análisis de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico del SENATI Trujillo.

B2 = Soluciones para mejorar la calidad y eficiencia en el sistema eléctrico de utilización del Senati Trujillo

2.2 Variables y operacionlización

2.2.1 Variable independiente:

Voltaje y factor de potencia

2.2.2 Variable dependiente:

Calidad de energía eléctrica

Eficiencia de la energía eléctrica

2.2.3 Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Voltaje y factor de potencia	El voltaje y el factor de potencia son los parámetros principales que se debe mantener en un sistema eléctrico de los cuales se puede analizar el mismo	Verificación de voltaje	Voltios	0-415V
		Variación de factor de potencia	Porcentaje	0-1
Calidad de energía eléctrica	Ausencia de interrupciones sobrecargas, perturbación producidas por armónicos, caída frecuencia, calidad de onda y energía sin interrupciones	Cantidad de armónicos	THDV y THDI	0-100%
		Variaciones de frecuencia	Frecuencia	0-60H
		Cantidad de interrupciones	% de flicker	0-100
Eficiencia de energía eléctrica	Consiste en usar la energía necesaria reduciendo el consumo mediante la compensación y una correcta facturación.	Cantidad de energía reactiva consumida	KVAR	>1
		Ahorro económico en energía facturada	Soles/mes	>1
		Optimizar el consumo de energía eléctrica	KW	>1

2.3 Población, muestra y muestreo

Población: Sistema eléctrico de utilización, 380/220V, del Senati Trujillo.

Muestra: El sistema eléctrico del senati se analizara en su totalidad en la salida del transformador y como referencia se desarrollaran las mediciones en los talleres de Metal Mecánica y electrotecnia ya que estos se encuentran los siguientes equipos eléctricos.

- Motores eléctricos
- Máquinas de soldar
- Equipos proyectores multimedia
- Televisores
- Equipos fluorescentes
- Tornos
- Taladros
- Transformadores
- Esmeriles
- Computadoras
- Equipos electrónicos, entre otro

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para lograr los objetivos específicos de esta investigación se utilizarán las siguientes técnicas y herramientas.

➤ Técnicas.

- Entrevistas con especialistas, personas que reportaron las fallas
- Mediciones en campo: con el analizador de redes durante 7 días, con la cámara termografica en los puntos más críticos y con el osciloscopio en tiempo real.
- Análisis de los recibos de facturación mensual por consumo de energía eléctrica

2.4.2 Equipamiento e instrumentos utilizados

- Osciloscopio digital TDS1102B marca Tektronix



Figura 2.1 Osciloscopio TDS1102B

Fuente: <https://www.finaltest.com.mx/Tektronix-TBS1102B-EDU-p/tbs1102b-edu.htm>

- Cámara termográfica DT-9875 marca CEM



Figura 2.2 Cámara termográfica DT-9875 (10)

➤ Analizador de redes 1743 marca Fluke



Figura 2.3 Analizador fluke 1743

Fuente: <http://www.cedesa.com.mx/fluke/registradores/potencia/1743/>

2.4.3 Validación y confiabilidad del instrumento

Validación:

- Las mediciones se realizarán durante siete días de acuerdo a lo establecido en la Norma técnica de calidad de servicio eléctrico.
- Los reportes de la facturación son un historial confiable ya que es la que entrega mensualmente la empresa Hidrandina al SENATI.

Confiabilidad:

- El analizador de redes cuenta con un código de calibración establecido por una empresa especializada en el tema y autorizada por INDECOPI la cual emite un código para el instrumento.
- El osciloscopio es un instrumento calibrado que sirve como equipo didáctico dentro de las instalaciones del SENATI

2.5 Método de análisis de datos

Los parámetros del sistema eléctrico del SENATI, se analizarán mediante la recopilación de datos actuales, la medición de variables eléctricas se realizarán cuadros de resumen, gráficas y cálculos matemáticos para determinar la calidad de energía eléctrica y aumentar la eficiencia.

2.6 Aspectos éticos

- Toda la información extraída es necesaria para la información la cual se encuentra correctamente citada.
- La información de análisis efectuado es exclusiva propia para el proceso de la investigación
- Se protegen los derechos de los individuos involucrados en la investigación.
- La entrevista a cada individuo se desarrolló con respeto, se evitó discusiones malos entendidos o refutaciones también no se realizaron preguntas que comprometan que incomoden a los individuos entrevistados.
- Las mediciones de parámetros eléctricos incluidos en la investigación son totalmente verídicos y confiables los cuales fueron tomados de una muestra real.

III.RESULTADOS

3.1 Recopilación de datos de los parámetros y características eléctricas del SENATI

3.1.1 Subestación eléctrica

La sub estación eléctrica del SENATI está constituida por los tableros generales de distribución eléctrica, un único transformador de 250kva de 10000V a 400V, fusibles en media tensión H22 y porta fusibles con un interruptor en media tensión. Los diagramas unifilares de la subestación y el diagrama unifilar de los tableros generales se encuentran en el anexo 01.

3.1.2 Datos del transformador general de la sub estación

Es un transformador diseñado y construido por la empresa COMPAÑÍA ELECTROANDINA S.A.C. Tipo T3DO con el número de serie 37286 fabricado en el 2013, de acuerdo a su placa tiene los siguientes parámetros:

Tabla 3.1 Datos característicos del transformador de la sub estación

Potencia (KVA)	250	ARROLAMIENTO	Primario	Secundario
Frecuencia (Hz)	60	Tensión (V)	10000	400
Número de fases	3	Intensidad (A)	14.43	360.34
Tensión de corto circuito a 75°C	3.85%	Nivel de aislamiento interno en (KV)	12/28/75	1 1/3
Conexión	Dyn 5	Aislamiento externo (Kv)	125
Enfriamiento	ONAN	Conexión	Δ	Y
Altitud (msnm)	3000	Bornes	U V W	n u v w
Montaje	Exterior	POSICIÓN DEL CAMBIADOR	Primario	Secundario
T ambiente máx.	40°C			
Calentamiento del aceite	60°C	1	10500	
Calentamiento del cobre	65°C	2	10250	400
Peso de aceite	229kg	3	10000	

Peso P. activo	533kg	4	9750	
Peso total	960kg	5	9500	

3.1.3 Circuitos de distribución eléctrica

En el SENATI se tiene varias secciones o áreas de consumo eléctrico sectorizadas con tableros principales independientes dentro ello tenemos los principales:

- Administración
- Comedor
- Electrotecnia y automotriz
- Talleres de construcciones metálicas
- Aulas
- Talleres de agroindustrias
- Taller de electricidad y mecánico eléctrico
- Taller de mecánica automotriz
- Talleres de maquinaria pesada

El diagrama unifilar de estos circuitos esta detallados en el anexo 3

3.1.4 Potencia contratada y plan tarifario

El SENATI tiene una factibilidad o potencia contratada de 176.99kw y es un cliente libre dentro de una categoría de facturación MT3

3.1.5 Parámetros de energía eléctrica

La siguiente tabla 3.2 se muestran los parámetros eléctricos del sistema eléctrico del SENATI en sus valores promedio los cuales se han sacado de los recibos de facturas la información completa se encuentra en el anexo 02 y medidos con instrumentos para obtener una apreciación del sistema eléctrico

Tabla 3.2 Parámetros eléctricos

N°	Descripción	Valor
01	Voltaje trifásico	410V
02	Voltaje monofásico	230V
03	Frecuencia de la red	60 Hz
04	Factor de potencia	0.90
05	Energía activa total	60 kwh
06	Energía reactiva mensual	7353.8 KVARH
07	Energía activa hora punta mensual	3889.7 KWH
08	Energía activa fuera hora punta mensual	9708.8 KWH
09	Número de interrupciones mensuales	0

3.2 Mediciones de parámetros eléctricos

3.2.1 Mediciones con analizador 1743 Fluke

Las mediciones realizadas con el registrador de calidad de energía Fluke 1743, en el Transformador general en el secundario (TGS) como se muestra el anexo 03 desde el 28/09/2017 al 04/10/2017, se realizaron de acuerdo a Norma técnica de calidad de servicios eléctricos, por 7 días ininterrumpidos y en los dos sub circuitos generales de los pabellones de Metal mecánica (MTLM) se realizó las mediciones del 09/11/2017 y electrotecnia (ELEC) se realizó las mediciones del 05/08/2017 por un periodo de 3 días cada uno, de todas estas mediciones se toma los instantes de carga mínima carga intermedia y carga plena de potencia conectada al transformador el resumen de las mediciones referentes a un día están en los anexos y la medición completa en un CD.

Resumen de mediciones de voltaje, en la tabla 3.3 se mostrará el resumen de mediciones tal como se ha establecido en el título (3.2.1) y parte de las mediciones se muestran en el anexo 04

Tabla 3.3 Mediciones de voltaje TGS

Tiempo		Fase	Voltaje línea a neutro (V)			Voltaje línea a línea (V)	
Inicio	Fin		Máximo	medio	Mínimo	Fases	Promedio

Mínima carga		L1	241.5	239.1	236.3	L1-L2	412.2
		L2	238.3	235.8	233	L2-L3	410.3
1:50	2:00	L3	241.5	235	238.7	L1-L3	413.4
Carga Promedio		L1	236.7	234.6	229.7	L1-L2	375.3
		L2	219	205	155.4	L2-L3	386
14:40	14:50	L3	236.3	233.9	230.2	L1-L3	405.2
Máxima carga		L1	235.2	233.3	231.7	L1-L2	371.5
		L2	212.5	209.3	202.7	L2-L3	393.5
18:40	18:50	L3	234.3	232.6	231.5	L1-L3	403.7

Resumen de medición de corriente y frecuencia: En la tabla 3.4 se muestra un resumen de las mediciones de corriente en cada línea y en el neutro como también se muestra la frecuencia de acuerdo y parte de las mediciones se encuentran en el anexo 05

Tabla 3.4 Medición de corrientes y frecuencia en el TGS

Tiempo		Fase	Corriente por línea (A)			Valor	Corriente en el neutro (A)	Frecuencia (Hz)
Inicio	Fin		Máximo	medio	Pico			
Mínima carga		L1	19.4	2.6	4.2	Pico	4.1	60
		L2	0	0	0	Medi	2.7	
1:50	2:00	L3	0	0	0	Max	18.4	
Carga Promedio		L1	287.1	75.3	134.1	Pico	55.8	60.02
		L2	148.6	48.7	86.4	Medi	25.2	
14:40	14:50	L3	199.4	62	95.9	Max	82.2	
Máxima carga		L1	129.2	93.1	146.1	Pico	108.4	59.99
		L2	59.8	53	77.3	Medi	60.2	
18:40	18:50	L3	123.6	109.2	161.3	Max	82.5	

Resumen de mediciones de THDV y THDI: En la tabla 3.5 se muestra las mediciones de armónicos totales tanto de tensión como de corriente, en la carga

mínima la corriente en dos líneas es 0 pero se observa la presencia de armónicos, parte de mediciones se encuentran en el anexo 06

Tabla 3.5 mediciones de THDV y THDI en el TGS

Tiempo		Fase	Armónicos THDV (%)		Armónicos THDI (%)	
Inicio	Fin		Máximo	medio	Máximo	Medio
Mínima carga		L1	3.19	3.1	0	0
		L2	5.79	5.7	0	0
1:50	2:00	L3	3.06	3	0	0
Carga Promedio		L1	4.52	4.37	23.75	16.79
		L2	10.02	7.28	20.06	13.32
14:40	14:50	L3	4.15	4.02	23.88	12.81
Máxima carga		L1	2.88	2.85	14.92	13.66
		L2	6.61	6.39	14.45	13.92
18:40	18:50	L3	2.96	2.92	13.59	13.27

Resumen de mediciones de flicker y factor de potencia: En la tabla 3.6 se muestra el resultado de los flickers tanto en carga mínima, carga media y carga plena o total, parte de los datos se encuentran en el anexo 07

Tabla 3.6 Mediciones de flicker y factor de potencia en el TGS

Tiempo		Fase	Flicker (%)			Factor de potencia (%)
Inicio	Fin		Máximo	Promedio	Mínimo	
Mínima Carga 04/10		L1	0	0	0	0.66
		L2	0	0	0	1
1:50	2:00	L3	0	0	0	1
Carga 04/10 Promedio		L1	0	0	0	0.85
		L2	0	0	0	0.81
14:40	14:50	L3	0	0	0	0.65
Máxima Carga 03/10		L1	0	0	0	0.95
		L2	0	0	0	0.97
18:40	18:50	L3	0	0	0	0.96

Resumen de las mediciones de corriente en tablero de MTLM: En la tabla 3.7 se muestra el resumen de la medición de corriente en la alimentación principal correspondiente a los talleres de metal mecánica, dichas medición también se resumieron en función del consumo de carga las mediciones se encuentran en el anexo 08

Tabla 3.7 Mediciones de corriente y frecuencia

Tiempo		Fase	Corriente por línea (A)			Valor	Corriente en el neutro (A)	Frecuencia (Hz)
Inicio	Fin		Máximo	medio	Pico			
Mínima Carga 10/10 6:50	7:00	L1	31.9	0.2	1.2	Pico	9.2	60
		L2	38.7	0.2	1.2	Medi	4.3	
		L3	66.3	4.7	10	Max	60.9	
Carga Promedio 12:50	13:00	L1	150.9	26.7	48.1	Pico	32.5	60.01
		L2	138.4	14.4	24.9	Medi	17.3	
		L3	105.7	13.4	23.3	Max	128.5	
Máxima carga 18:10	18:20	L1	159	28.3	46.6	Pico	4.2	59.9
		L2	132.3	22.4	35.9	Medi	2.5	
		L3	160.7	24.3	39.5	Max	46.4	

Resumen de las mediciones de THDV y THDI en MTLM: En la tabla 3.8 se muestra el resumen de mediciones de armónicos de corriente y tensión evaluados en función de la carga con la finalidad de determinar la cantidad de armónicos que genera dicho circuito las mediciones se encuentran en el anexo 09

Tabla 3.8 Mediciones de THDV y THDI en la alimentación de MTLM

Tiempo		Fase	Armónicos THDV (%)		Armónicos THDI (%)		Factor de potencia
Inicio	Fin		Máximo	medio	Máximo	Medio	
Mínima carga		L1	4.05	3.9	0	0	1
		L2	3.89	3.73	0	0	1

6:50	7:00	L3	8.31	7.32	0	0	0.9
Carga 11/10 Promedio		L1	3.21	3.08	0	0	0.96
		L2	3.25	3.15	0	0	0.47
14:40	14:50	L3	7.95	7.22	0	0	0.65
Máxima carga		L1	3.47	3.39	0	0	0.29
		L2	3.29	3.22	0	0	0.34
18:40	18:50	L3	7.87	7.26	0	0	0.19

Resumen de las mediciones de corriente en tablero de ELEC: En la tabla 3.9 se muestra el resumen de la medición de corriente en la alimentación principal correspondiente a los talleres de electrotecnia, dichas medición también se resumieron en función del consumo de carga las mediciones se encuentran en el anexo 10

Tabla 3.9 Mediciones de corriente y frecuencia en el circuito de ELEC

Tiempo		Fase	Corriente por línea (A)			Valor	Corriente en el neutro (A)	Frecuencia (Hz)
Inicio	Fin		Máximo	medio	Pico			
Mínima carga		L1	11.8	1.9	4	Pico	13	60.01
		L2	20.3	8.7	17.2	Medi	8.4	
1:50	2:00	L3	0	0	0	Max	19.6	
Carga Promedio		L1	125.5	76.1	111.6	Pico	54	60
		L2	84.5	67.2	110.5	Medi	28.3	
14:40	14:50	L3	54.9	53.3	75.2	Max	65.3	
Máxima carga		L1	234.9	79.5	122	Pico	75.1	60
		L2	234.2	97.2	161.1	Medi	42	
18:40	18:50	L3	126	39.2	58.9	Max	60.2	

Resumen de las mediciones de THDV y THDI en ELEC: En la tabla 3.10 se muestra el resumen de mediciones de armónicos de corriente y tensión de los laboratorios de electrotecnia, evaluados en función de la carga con la finalidad de determinar la cantidad de armónicos que genera dicho circuito las mediciones se encuentran en el anexo 11

Tabla 3.10 Mediciones de THDV y THDI del circuito ELEC

Tiempo		Fase	Armónicos THDV (%)		Armónicos THDI (%)	
Inicio	Fin		Máximo	medio	Máximo	Medio
Mínima Carga		L1	3.62	3.52	0	0
		L2	3.43	3.37	0	0
1:50	2:00	L3	6.8	6.27	0	0
Carga Promedio		L1	3.36	3.33	0	0
		L2	3.11	3.07	0	0
14:40	14:50	L3	5.73	5.61	0	0
Máxima carga		L1	3.41	3.25	0	0
		L2	3.31	3.19	0	0
18:40	18:50	L3	7.27	6.13	0	0

3.2.2 Mediciones con cámara termografía DT-9875

Las mediciones con la cámara termografía se realizaron en distintos puntos de la instalación eléctrica del SENATI pero se consideró solo en el transformador ya que en este la temperatura es mayor y por ende se toma en cuenta la medición para su posterior análisis como se muestra en la figura 3.1 la medición desde un ángulo y sus resultados brindados por el análisis de la cámara en la figura 3.2, también se puede observar otra toma enfocando la zona más caliente o con mayor temperatura en la figura 3.3 y los resultados completos en la figura 3.4

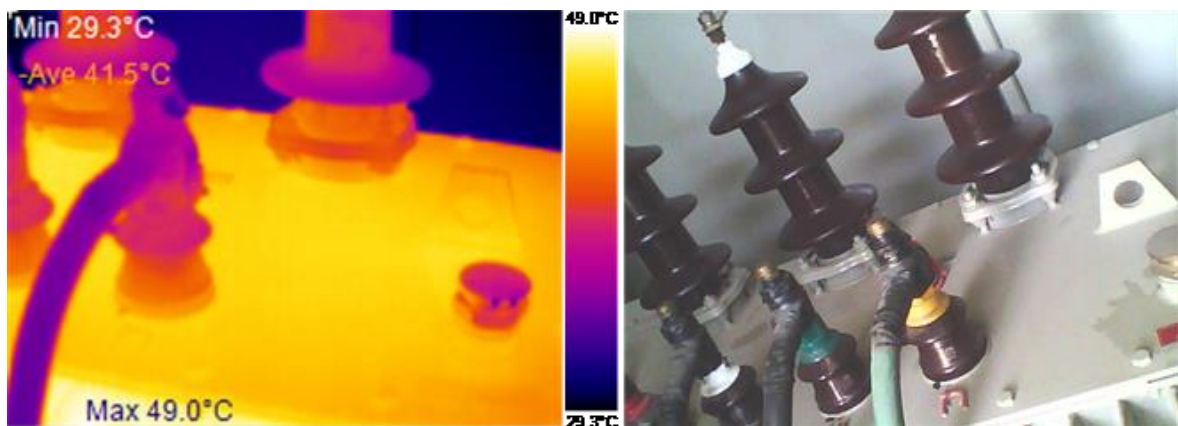


Figura 3.1 Medición de temperatura en la base de los terminales

Nombre archivo:	171020_0086T.jpg		
Fecha imagen guardada	2017-10-20	Valor Emisividad:	0.95
Hora imagen guardada	15:57:46	Temp. Ambiente:	25.0°C
Valor MAX Temp	49.0°C	Temp. Reflejada	25.0°C
Valor MIN Temp.	29.3°C	Humedad:	60%
AVE Temp.	41.5°C	Distancia:	3.0m

Figura 3.2 Datos de la medición en la base de los bornes del transformador

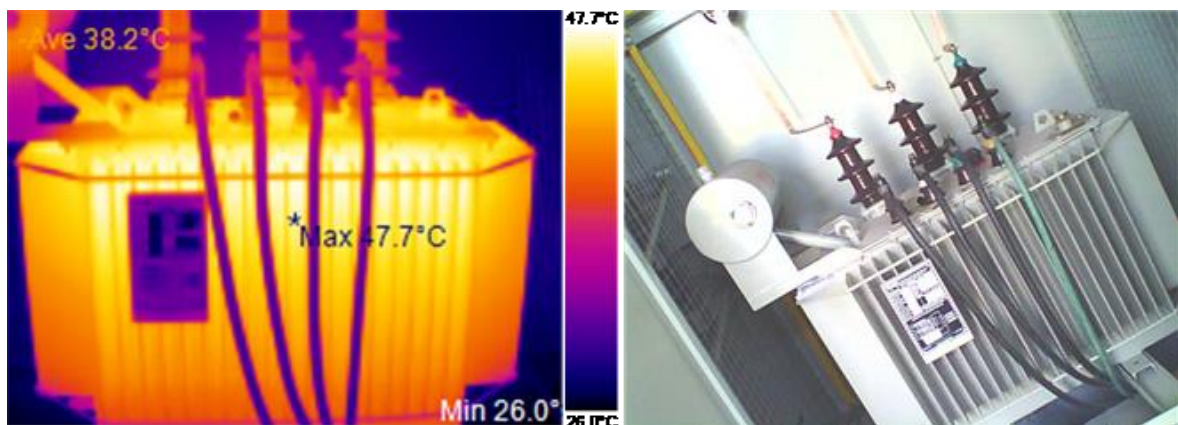


Figura 3.3 Medición de todo el transformador e indicando el punto más caliente

Nombre de archivo:	171020_0078T.jpg		
Fecha de imagen guardada	2017-10-20	Valor Emisividad:	0.95
Hora imagen guardada	15:55:47	Temp. Ambiente:	25.0°C
Valor MAX Temp	47.7°C	Temp. Reflejada	25.0°C
Valor MIN Temp.	26.0°C	Humedad:	60%
AVE Temp.	38.2°C	Distancia:	3.0m

Figura 3.4 Datos de la medición del transformador y el punto más caliente

3.2.3 Mediciones con osciloscopio tecktronix TDS1102B

Las mediciones realizadas con el osciloscopio nos servirán para determinar la calidad de la onda sinusoidal, la amplitud, voltaje pico, periodo y otros parámetros

a detalle ya que esta medición es en tiempo real en esta parte solo se mostrarán el resumen de las mediciones, más adelante se realizará el análisis en la figura 3.5 se muestra la medición de la medición de la línea uno en el canal 2 de color celeste, los parámetros detallados de esta línea están en la figura 3.8 y la medición de la L2 están en la figura 3.5 en el canal 1 de color amarillo y los detalles de esta medición están en la figura 3.7 y la línea L3 es mostrada en el canal 1 de color amarillo en la figura 3.6 las mediciones a detalle de esta línea se encuentran en la figura 3.9.

3.2.4 Mediciones tomadas del medidor de energía

Las siguientes mediciones son las tomadas desde el medidor de consumo de energía eléctrica del SENATI se utiliza esta información para determinar si el nivel de tensión que está llegando a las instalaciones se pueden obtener más mediciones ya que este medidor es como un analizador registra las medidas cada 15 minutos, pero una de las desventajas y por la cual no se considerare otros parámetros es que no está certificado como tal pero si es una medición confiable ya que es utilizada por la empresa que suministra energía eléctrica para medir nuestro

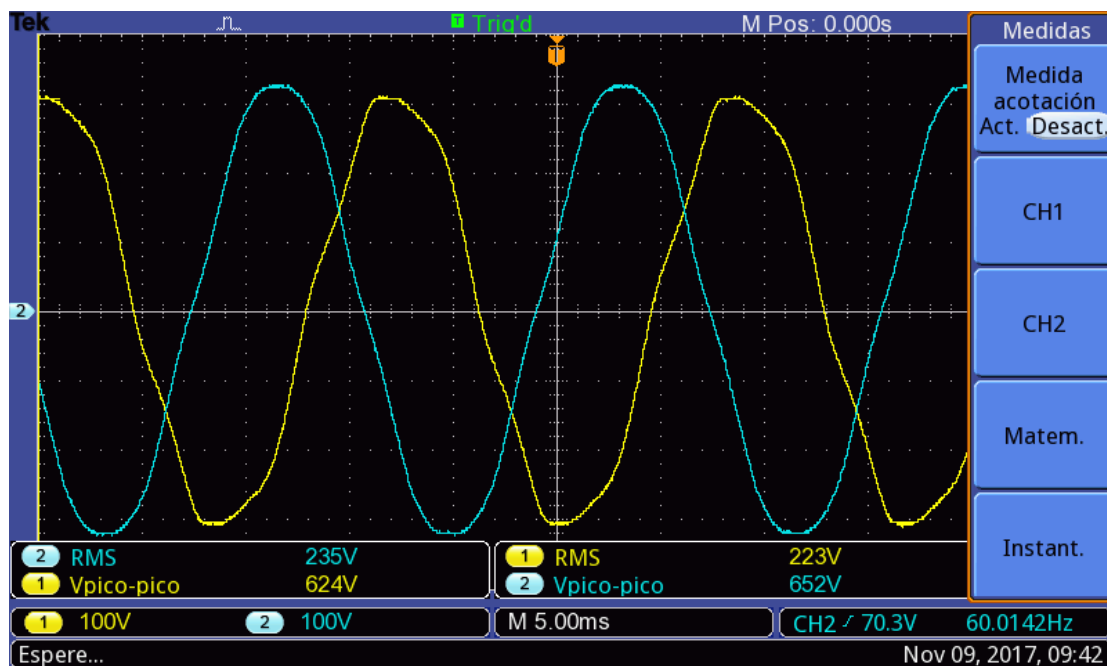


Figura 3.5 Medición de la forma de onda L1 y L2

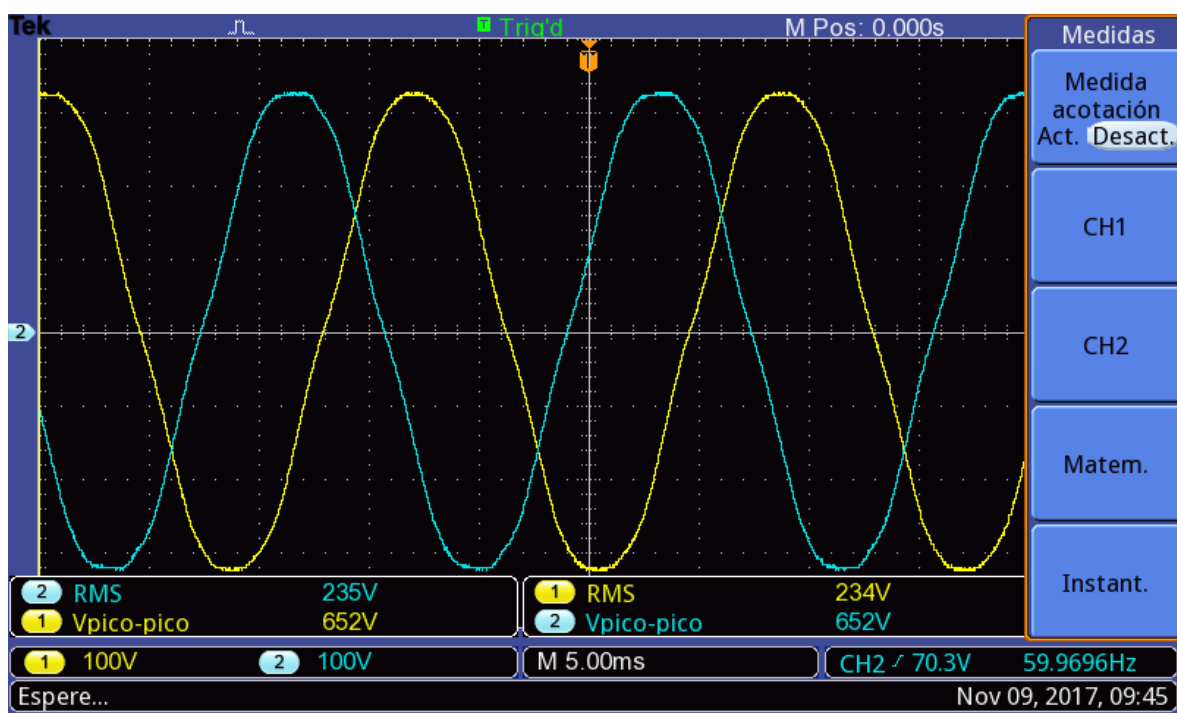


Figura 3.6 Medición de la forma de onda de L1 y L3



Figura 3.7 Parámetros de la onda en L1



Figura 3.8 Parámetros de la onda en L2



Figura 3.9 Parámetros de la onda en L3

Consumo y cada cierto tiempo verifican que las mediciones sean exactas se ha obtenido la información completa del mes de setiembre, pero se tomara en cuenta un periodo de un día en el que haya habido más variaciones de tensión en el

resumen de la tabla 3.11 se encuentran las mediciones bajo el análisis de carga mínima, media y máxima, las mediciones de tensión línea a línea y línea neutro se encuentran en el anexo 12

Tabla 3.11 Mediciones de voltaje de línea con referencia a tierra

Tiempo		Resumen de mediciones de voltaje			
Inicio	Fin	Fase	Voltios	Fases	Voltios
Mínima carga		L1	241.5	239.1	236.3
		L2	238.3	235.8	233
1:50	2:00	L3	241.5	235	238.7
Carga Promedio		L1	236.7	234.6	229.7
		L2	219	205	155.4
14:40	14:50	L3	236.3	233.9	230.2
Máxima carga		L1	235.2	233.3	231.7
		L2	212.5	209.3	202.7
18:40	18:50	L3	234.3	232.6	231.5

3.3 Análisis de las mediciones eléctrica para identificar las fallas en la calidad y eficiencia de la energía eléctrica

3.3.1 Análisis de voltaje

De las mediciones con el analizador fluke 1743 realizadas en 7 días de acuerdo a la norma técnica peruana se obtuvo la gráfica de tensiones de cada línea con referencia tierra mostrada en la figura 3.10 y de las mediciones de las cuales se puede obtener una variación de 30V el día 12/10/17 por un periodo de 50 minutos lo que representa una variación del 13% en la L3, si bien la norma técnica peruana no habla sobre el desequilibrio entre distintas líneas esto es perjudicial para el sistema eléctrico, las mediciones se encuentran en el anexo 04.

En la figura 3.11 y de acuerdo a las mediciones se encontró una variación de línea a línea de 35 voltios 9.1% y una variación total de 14 voltios lo que

representa un 3.4% de variación en un periodo menor al 2% del periodo de medición.

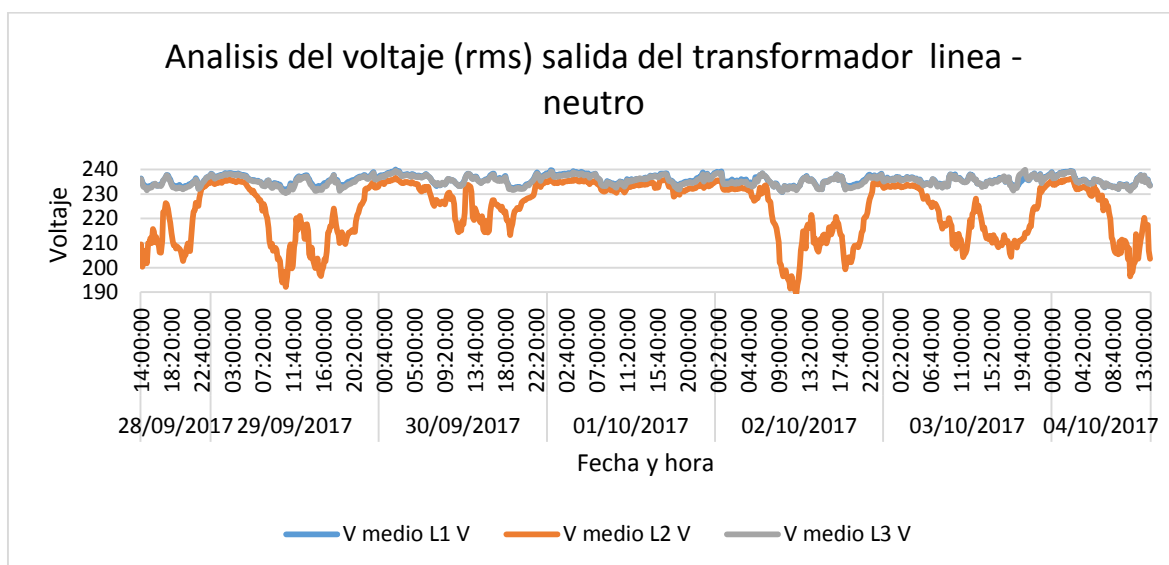


Figura 3.10 Análisis de mediciones de voltaje línea a neutro

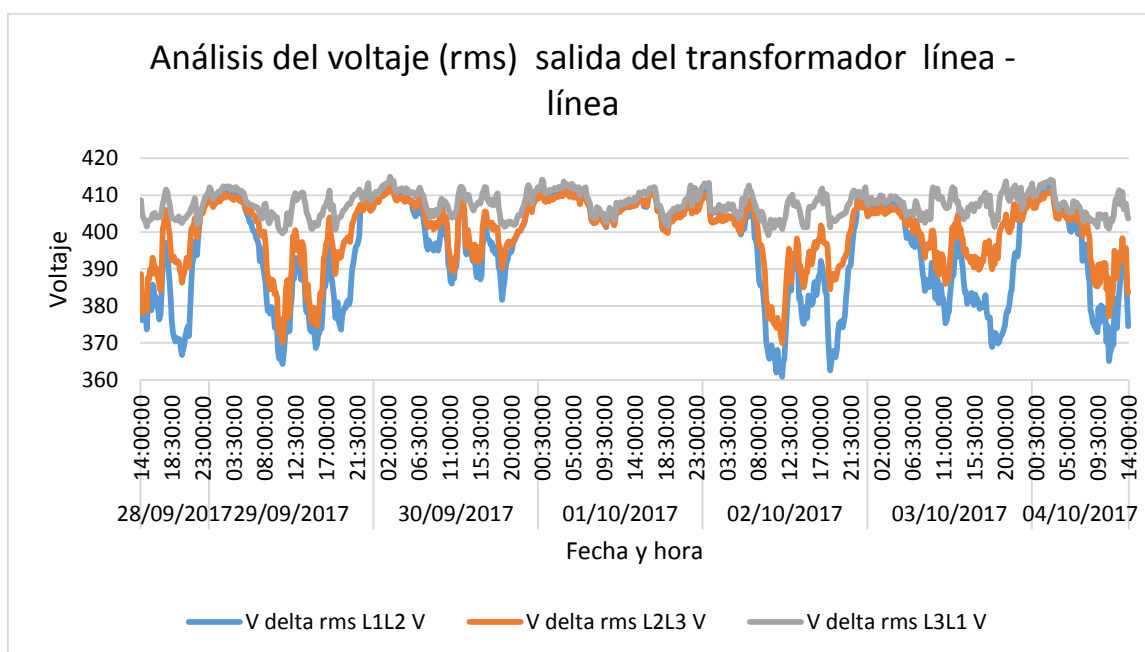


Figura 3.11 Análisis de tensiones rms línea a línea

Con las mediciones antes mencionadas con el analizador fluke 1743 no fue suficiente ya que como se puede apreciar la variación de tensión entre líneas no es constante en el tiempo y solo es una línea con este problema se obtuvo

valores de tensión registrados cada 15 minutos del medidor de energía ya que este puede trabajar como un analizador pero no está certificado pero si es confiable ya que hidrandina realiza su facturación y es calibrado cada cierto tiempo en la figura 3.12 se observa una variación promedio total de 8 voltios lo que representa una variación del 2% pero la variación entre líneas es de 2 voltios lo que representaría 0.5%, lo que indicaría que el problema no es de la calidad de energía en cuanto a voltaje, que brinda la empresa suministradora sino más bien de nuestro sub estación pudiendo ser transformador o puntos de mala conexión. También se puede observar en la figura 3.13 la medición línea neutro la cual corrobora el análisis hecho en la figura 3.12 que los voltajes en cada línea no hay variación considerable con respecto otra línea, si bien estas mediciones no nos dan los valores descritos sino más bien un valor promedio 130 se utilizó en parámetro del trafomix de 45.4545 para llevarlo a media tensión y luego con la relación de transformación de nuestro transformador de 10000/400 y el taps en el que se encuentra regulado llevarlo a los valores analizados ya mencionados en las gráficas, las mediciones están en anexo 12.

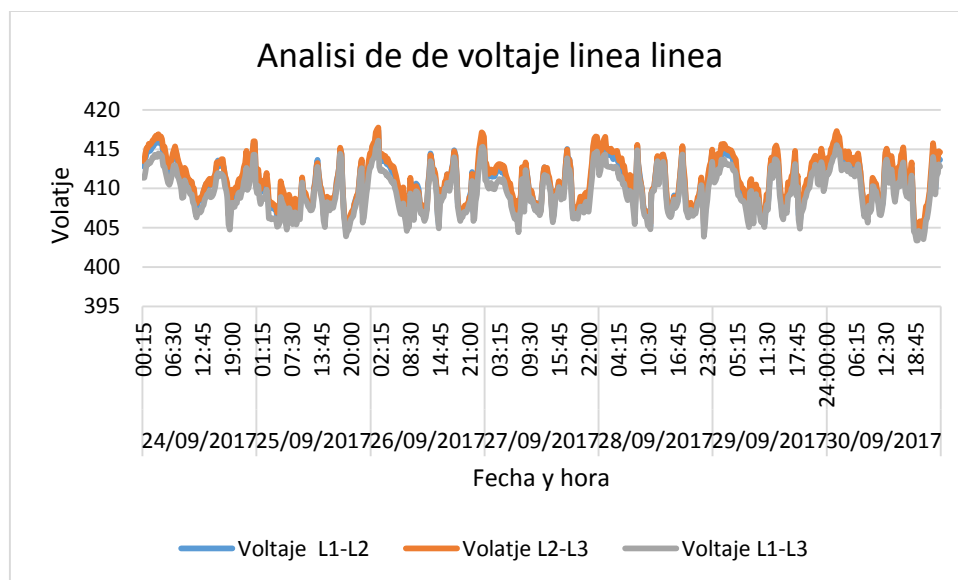


Figura 3.12 Grafica de mediciones de voltaje línea a línea

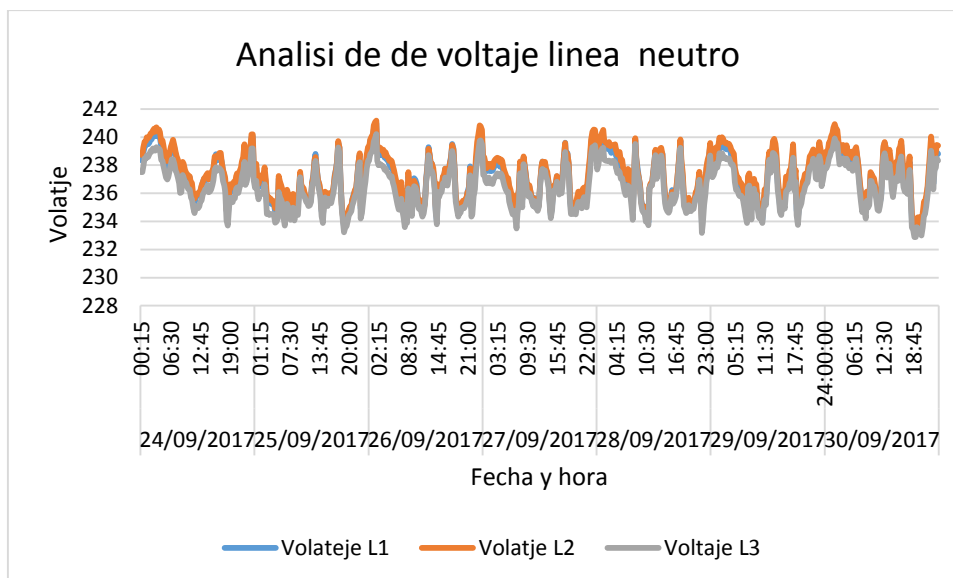


Figura 3.13 Grafica de mediciones de voltaje de línea a neutro

3.3.2 Análisis de frecuencia

De acuerdo a la figura 3.14 y de la medición se encuentra una frecuencia mínima de 59.93 Hz lo origina una variación de 0.12% y una frecuencia máxima de 60.04 lo que origina una variación de 0.06% que no es muy significativa y se da en un tiempo muy corto, las mediciones están el anexo 05

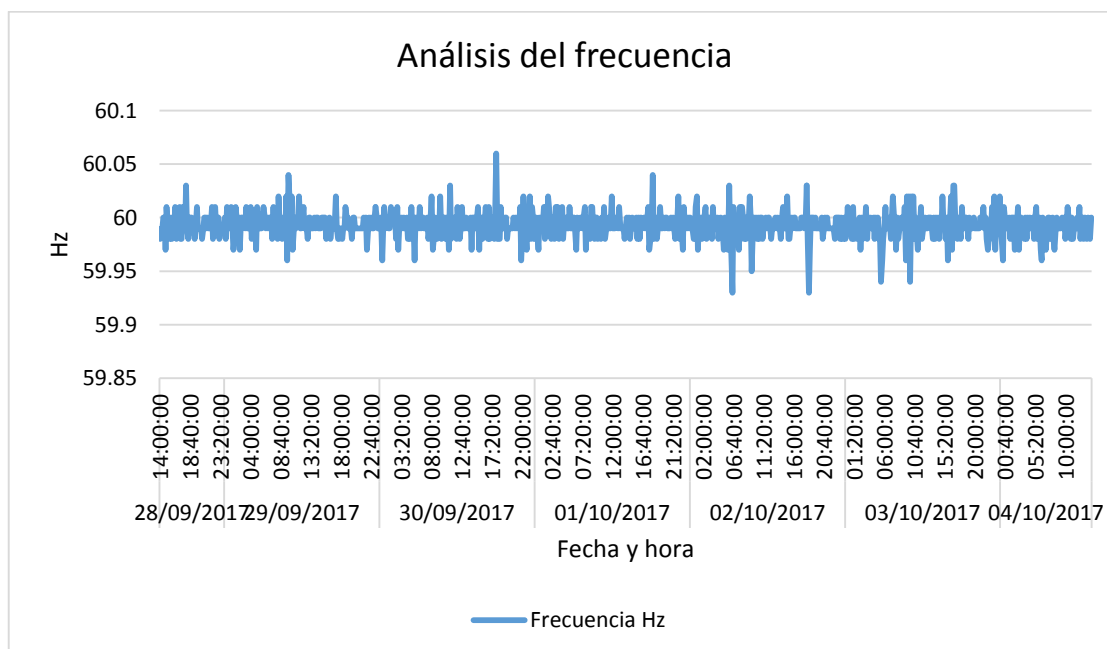


Figura 3.14 Grafica de comportamiento de la frecuencia

3.3.3 Análisis de la forma de onda sinusoidal

La forma de la onda es el indicador de la calidad de energía de señales medidas con el osciloscopio y mostradas en la figura 3.5 y 3.6 donde se puede ver las tres líneas cada una con una mínima distorsión excepto de la línea 2 que se muestra con un voltaje rms de 223 voltios mientras que las líneas 1 y tres están con 235 y 234 respectivamente además se puede observar en la figura 3.5 claramente la deformación de la onda la amplitud de diferente.

De las figuras que muestran los resultados de los parámetros también se puede tomar en cuenta el voltaje medio que de acuerdo a la teoría debería ser cero, pero se observa un valor de 903mV en la línea 1, 2.71V en la línea 2 y la línea 3 829mV la mayor diferencia está en la línea 2.

En cuanto a la frecuencia instantánea en cada línea: La línea 1 tiene una frecuencia de 59.95 Hz, la línea 2 una frecuencia 59.98Hz y la línea tres una frecuencia de 60.02 Hz, las cuales no muestrean diferencias significativas.

Los demás parámetros como voltaje máximo y voltaje mínimo, así como el periodo, tiempo de subida y otros parámetros no se analizarán.

3.3.4 Análisis de distorsiones y perturbaciones de la energía eléctrica

Si bien no se ha logrado con este analizador de calidad de energía obtener el porcentaje de cada armónico sino más bien el porcentaje total de armónicos de los cuales se puede observar que si supera el 8% en la línea 2 en aproximadamente 149 intervalos que sería en un tiempo del 14% de la medición total, cabe mencionar que también hay instantes que supera 9% de distorsión armónica total de voltaje como se muestra en la figura 3.15 y las mediciones están el anexo 06.

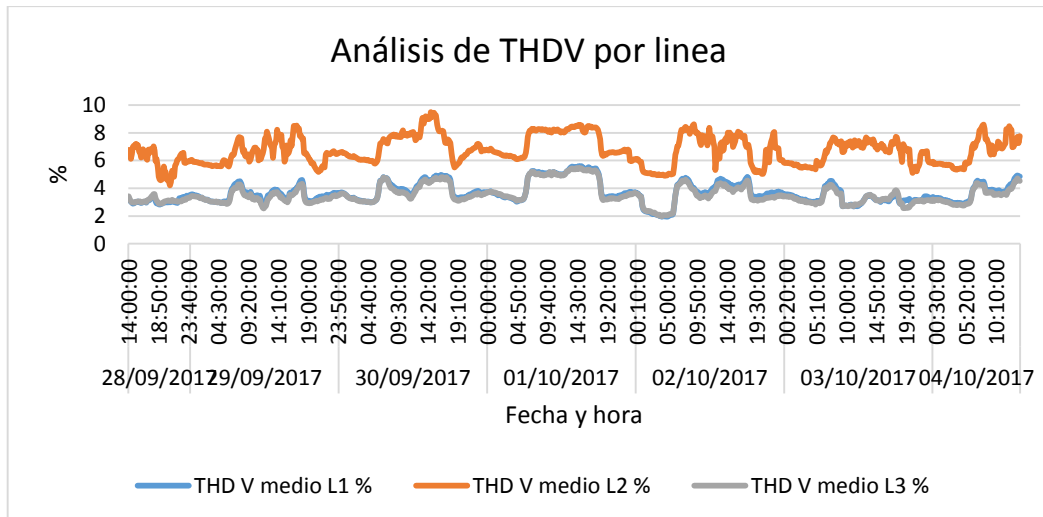


Figura 3.15 Análisis de distorsión armónica total por línea

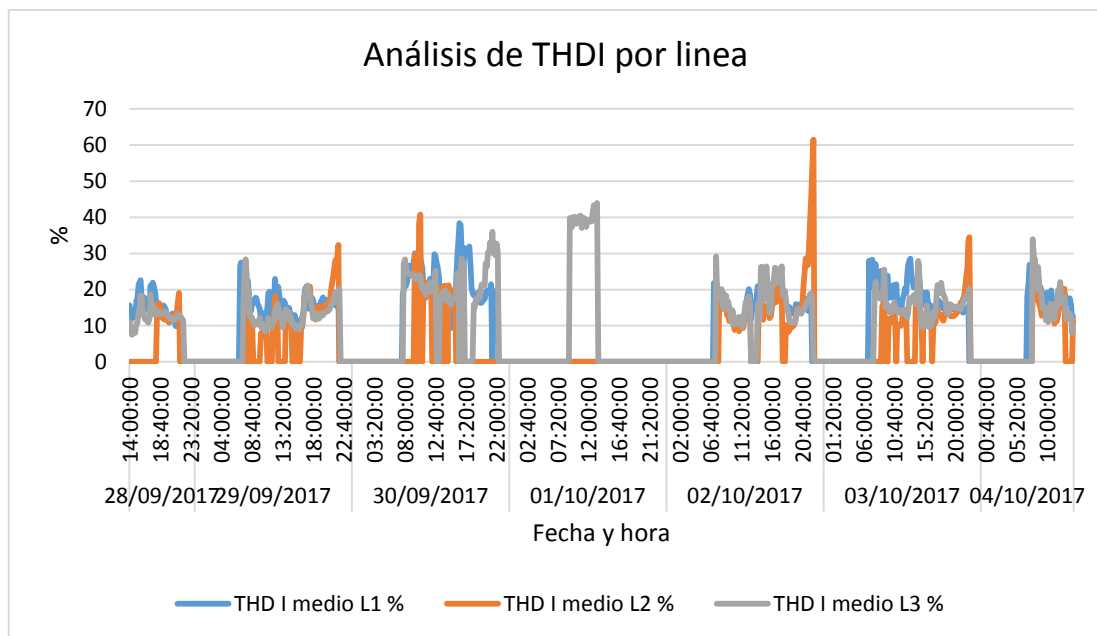


Figura 3.16 Grafica de armónicos totales de corriente por línea

Los armónicos totales de corriente por línea superan en algunos casos hasta el 30% y una de las líneas que más soporta estos armónicos es la línea 2 la que vimos en los análisis anteriores sufre mayor deformación la onda esto corrobora la teoría que los armónicos deforman la señal eléctrica, si bien se establece como máximo un 20% de los armónicos totales estos exceden mucho más y en un tiempo mayor como se puede ver en la figura 3.16, en la figura 3.17 también se puede observar los armónicos totales en el neutro, lo cuales son más altos

teniendo en cuenta que por esta línea no debe pasar corriente pero esto es producto del desbalance de corriente como lo analizaremos más adelante

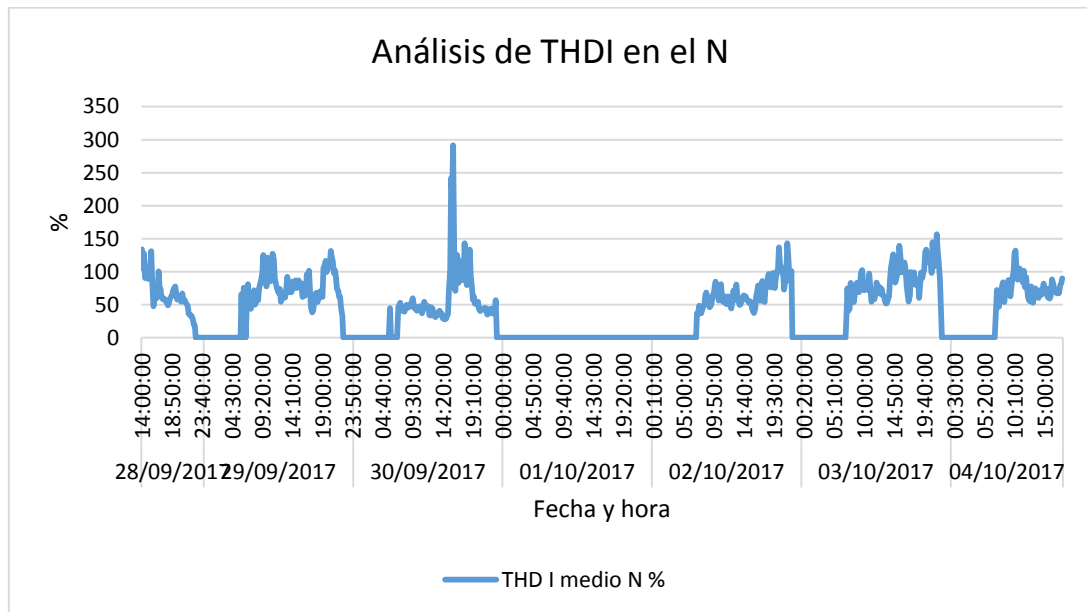


Figura 3.17 Análisis de armónicos totales en el neutro

En la figura 3.18 se muestra en análisis de los flickers los cuales exceden el 1% en algunos casos excediendo también el 2% lo cual excede lo establecido en la norma que no debe superar el 1%. Cabe recalcar que la medición se realizó cada 10 minutos y en un periodo de 7 días.

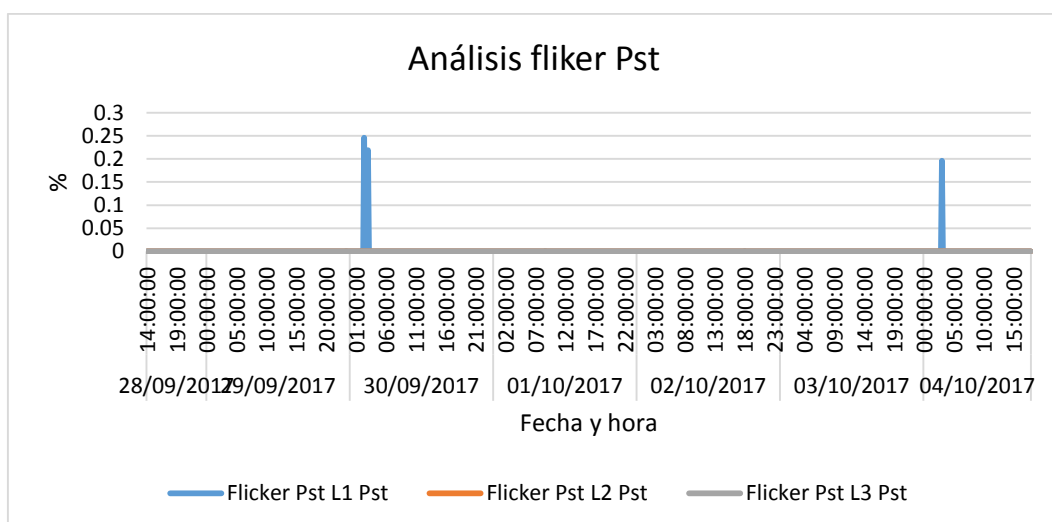


Figura 3.18 Mediciones de flicker post

3.3.5 Análisis de la energía eléctrica consumida

La energía consumida en las instalaciones del SENATI es variable en diversos tiempos durante un día esto se debe a que para realizar las prácticas de taller se prenden determinadas maquinas solo en ciertos momentos y también se puede observar un desbalance de consumos de corriente en cada línea como se muestra en la figura 3.19, las mediciones están en el anexo 13, del mismo modo en la figura 3.20 se puede observar consumo de corriente en el neutro tomando como valores máximo 60 amperios, sabiendo que por este punto de referencia debería pasar 0 amperios esto ocurre debido a una mala distribución de cargas ya que en las instalaciones del SENATI se tiene en su mayoría cargas monofásicas desde máquinas de soldar, esmeriles, equipos de cómputo y otros.

El factor de potencia medido y mostrados en la figura 3.21, las mediciones se pueden ver en el anexo 07 también es variable y oscila ente 0.7, 0.8, 0.9 esto también es de debido a lo que mencionamos anteriormente, pero sobre todo es a la cantidad de equipos fluorescentes que se tiene instalados en diversas aulas, talleres y a las máquinas de soldar instaladas en los talleres de metal mecánica, más adelante aremos un análisis minucioso de la gráfica y de los datos de la medición cuando ágamos la compensación.

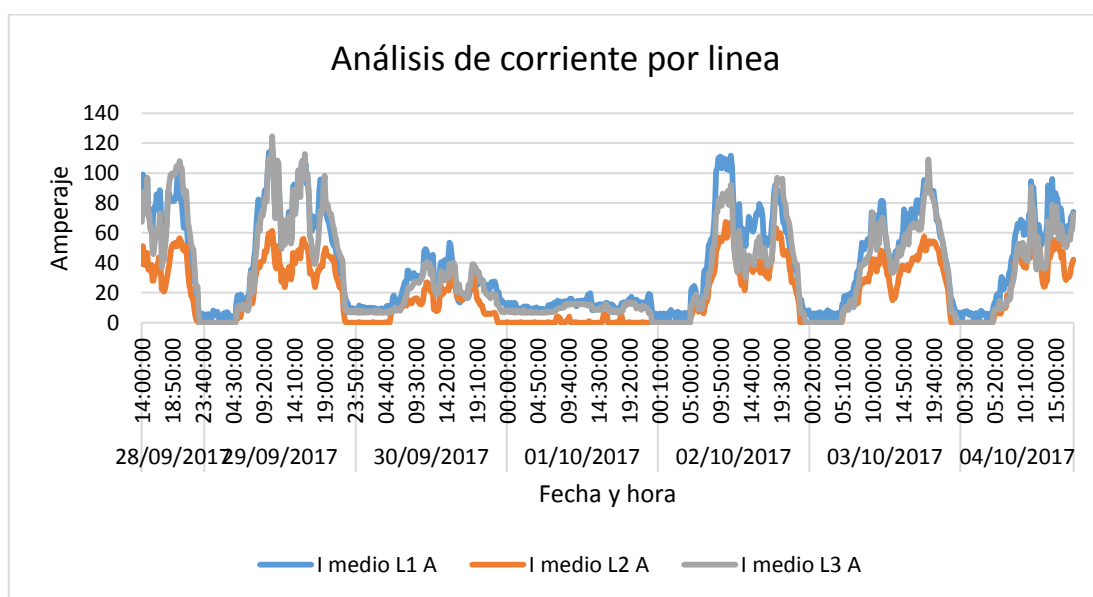


Figura 3.19 Grafica de mediciones de corriente en cada línea

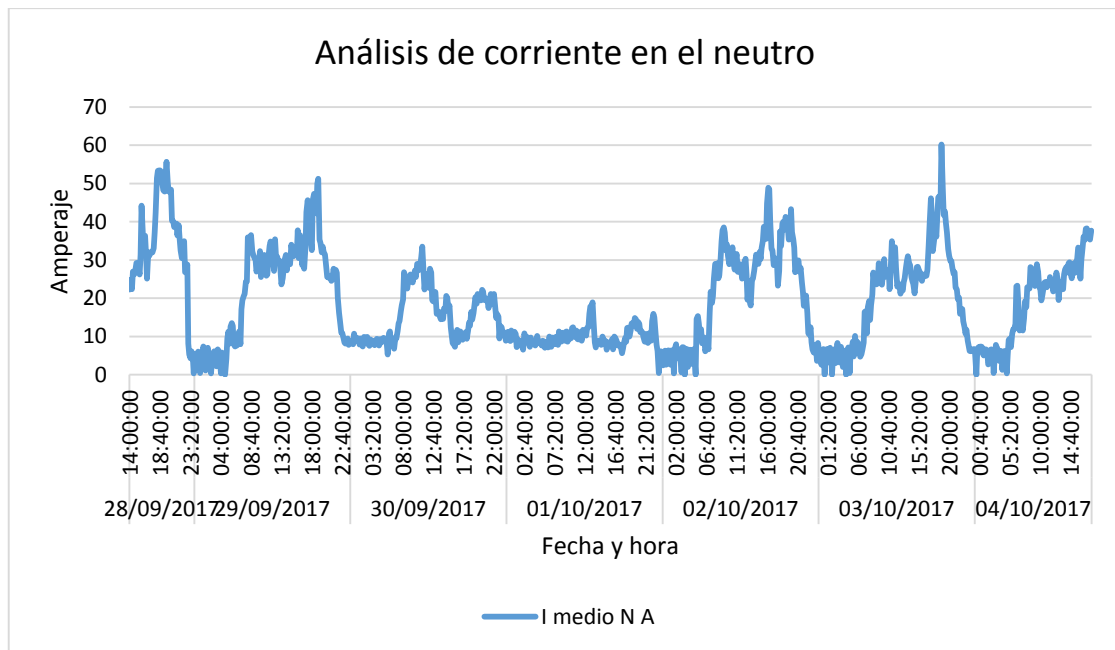


Figura 3.20 Grafica de mediciones de corriente en el neutro

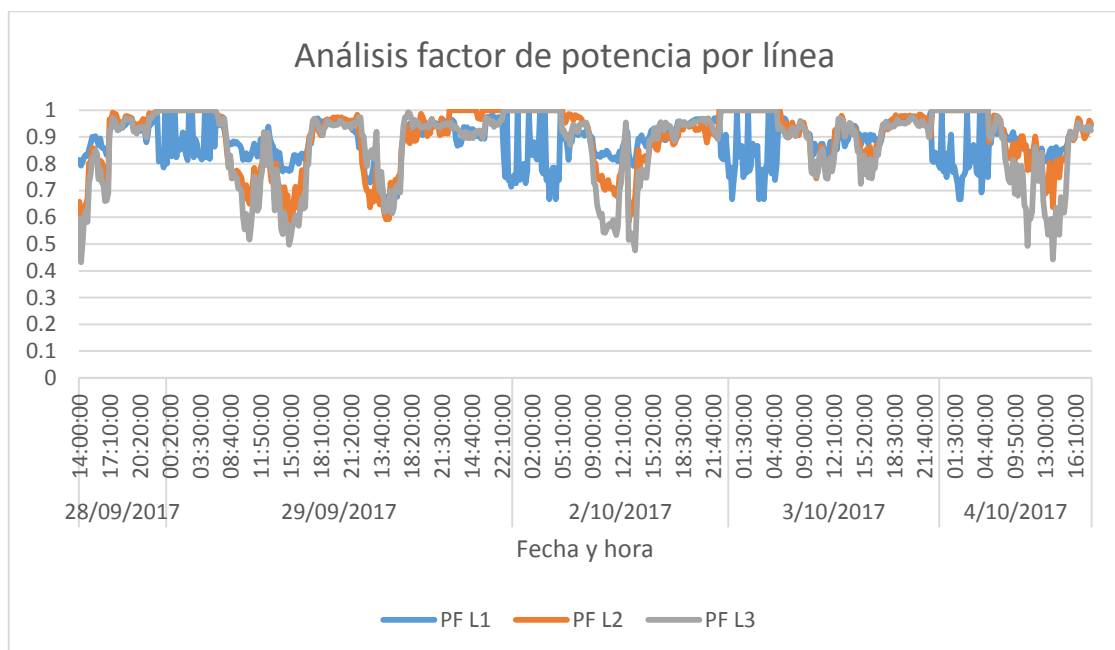


Figura 3.21 Grafica de mediciones de factor de potencia

Por lo descrito en las figuras de consumo de corriente y factor de potencia es de entender que tendremos una potencia variable como se muestras en las figuras 3.22 pero sobre todo un exceso de consumo de energía reactiva, por lo cual en

nuestra facturación mensual pagamos un promedio de 250 soles a más, asiéndose necesario una compensación.

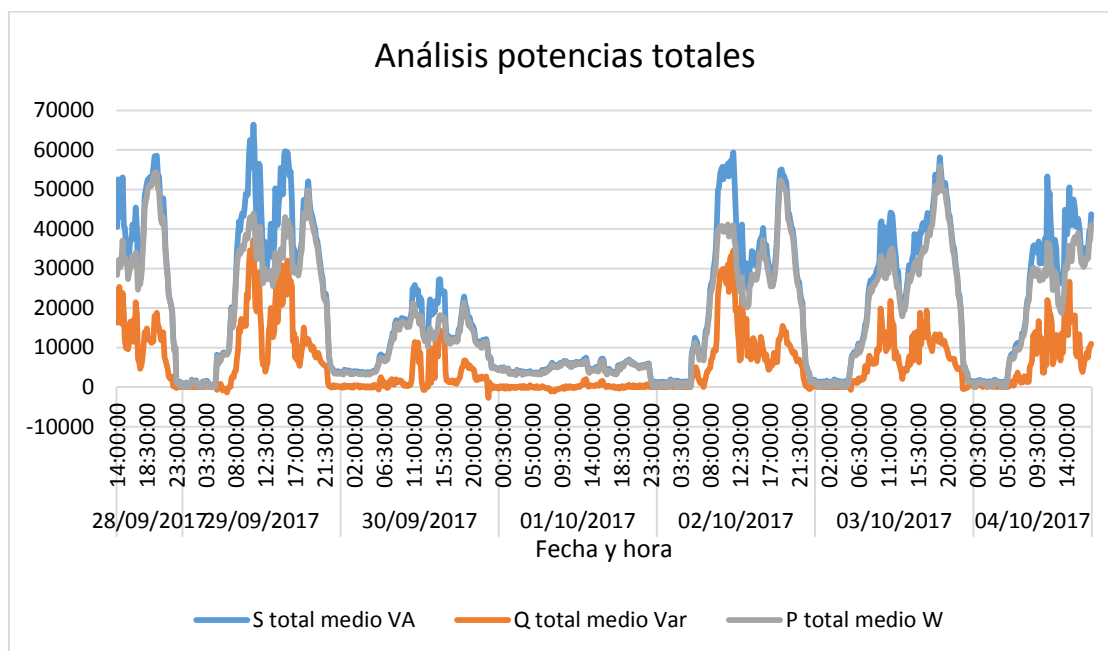


Figura 3.22 Grafica de medición de las potencias activa, reactiva y aparente

3.3.6 Análisis del transformador

De la figura 3.22 se puede observar que la máxima potencia es aproximadamente 66.4 KVA que tomaremos de acuerdo a información obtenida en el recibo de los meses anteriores un promedio de 70 KVA y tenemos en la tabla 3.1 los datos del transformador muestran una potencia de 250VA por lo tanto diremos que el transformador está trabajando al 28%, no se tiene datos ni impedancia del transformador para calcular las pérdidas pero de acuerdo a la facturación de puede evaluar que las pérdidas son mínimas.

En la figura 3.2 se observa un valor máximo de temperatura 49°C y una temperatura ambiente de 25°C y de acuerdo a la tabla 3.1 indica que la temperatura en aceite de 60°C y la temperatura en el cobre de 65°C de estos parámetro se evidencia que la temperatura en el transformador no sobrepasa lo establecido en la tabla 3.1, del mismo modo los valores de armónicos THDV superan el 8% y los THDI el 20% siendo estos causantes de pérdidas por efecto Joule, pérdidas en el hierro y consecuencia sobrecalentamiento en los devanados.

En salida transformador se puede observar según la figura 3.10 que hay una variación de tensión de línea a neutro de 30V y en la figura 3.11 una variación de tensión de línea a línea de 35V, mientras que en las mediciones tomadas del medidor, mostradas en la figura 3.12 y en análisis dicha figura se muestra una variación de 2V lo que muestra como resultado el mal funcionamiento del transformador debido a la red como se observa en la figura 3.19 variaciones de corriente de 68 amperios en las líneas y en la figura 3.20 una corriente máxima de 60 amperios en el neutro y en las mediciones realizadas con el osciloscopio en la figura 3.5 la forma de la onda de la L2 deformada a causa de los armónicos.

3.4 Determinación de calidad de energía eléctrica

Para poder determinar la calidad de la energía utilizaremos la tabla 3.12 en la cual se mostrarán los valores determinados por la Norma técnica de calidad de servicio eléctricos (026-2006-EM) y los resultados de las mediciones.

Tabla 3.12 Determinación de calidad de energía eléctrica

Descripción del indicador	Valor normado	Valores medidos	Resultado ó cumplimiento
Variaciones de voltaje (ΔV)	<5%	2%	Si cumple
Variaciones de frecuencia sostenidas (Δf_k)	<0.6%	0.12%	Si cumple
Variaciones de frecuencia súbditas (VSF)	<1Hz	0.6Hz	Si cumple
Flicker (Pst)	<1%	0.24%	Si cumple
THDIV %	<8%	8 - 9%	No cumple
THDI %		30%	No cumple

Como se puede ver 3.16 los parámetros THDI no están establecido en la normar, pero la IEC que es la norma de donde se tomaron los indicadores establece un valor THDI de 20%

3.5 Compensación y plan tarifario

3.5.1 Análisis de costos de energía activa y reactiva

La energía reactiva consumida por el SENATI está en un promedio de 280 soles mensuales lo cual indica que se sobrepasó el 30% que establece como consumo máximo siendo algo perjudicial para las instalaciones ya que las sobrecarga y económica para la institución por ello es necesario realizar una compensación.

3.5.1.1 Compensación correspondiente al mes de septiembre

Determinaremos la potencia total a compensar consumida en la última facturación correspondiente al mes de septiembre en el cual se paga un consumo de 310.33 soles por consumo de energía reactiva.

Datos:

$$P = 13598.57 \text{KW}$$

$$Q_1 = 11433.39 \text{KVA}$$

Despejando la fórmula 1.6

Se tiene:

$$\tan \varphi_1 = \frac{Q_1}{P} = \frac{11433.39 \text{KVA}}{13598.57 \text{KW}} = 0.8407$$

Y el arco tangente de 0.8407 nos daría un ángulo φ_1 de 40.05 grados, lo que se quiere es reducir el pago de reactiva se puede tomar un ángulo φ_2 de 9 grados que da como resultados un $\cos \varphi_2$ de 0.987 y una tangente de 0.1583.

La que daría como resultado un Q_2 :

$$Q_2 = \tan \varphi_2 \times P = 0.1583 \times 13598.5 \text{kw} = 2152.65 \text{KVA}$$

La potencia a compensar durante el mes sería:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 11433.39 \text{KVA} - 2152.65 \text{KVA} = 9280.74 \text{KVA}$$

Pero este valor de la reactiva sería a compensar considerando la facturación mensual.

3.5.1.2 Selección de tipo de compensación

Para seleccionar el banco de condensadores es necesario ver el consumo a cada instante y evaluar en $\cos \varphi$ en cada uno de estos instantes para evaluar el tipo de compensación a utilizar y que esta sea la más eficiente para ello utilizaremos las mediciones tomadas con el analizador de calidad de energía fluke 1743 y utilizaremos la figura 3.23 para su análisis.

De la figura 3.23 se puede observar que el $\cos \varphi$ disminuye entre 0.65 y 0.70 lo que no necesariamente este cuando esta toda la carga si haríamos un cálculo con ellos sería errado, por ello analizaremos las mediciones tomaremos de varios datos en distintos valores d potencia ya que al haber hecho la medición de una semana completa y por su proceso de enseñanza y desarrollo de actividades esto es repetitivo semanalmente tomaremos los datos de potencia y $\cos \varphi$ de los siguientes valores para determinar la compensación en distintitos casos y elegir la óptima.

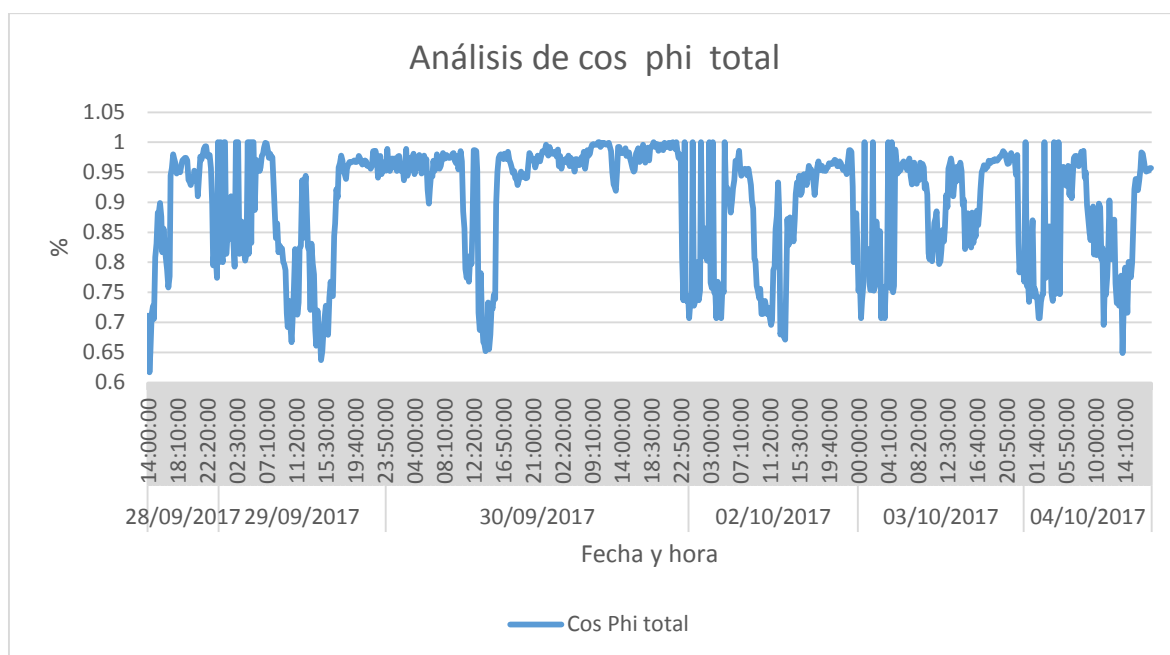


Figura 3.23 Mediciones del cos phi

➤ Caso 1 compensación a 0.99

P=56kw

Cos φ =0.67, φ =47.93° máximo

Tang φ 1= 1.108

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \times P = (1.108 - 0.140) \times 56 \text{ KW} = 54.2 \text{ KVAR}$$

Cos $\phi=0.8$, $\phi=36.86^\circ$ medio

Tang $\phi_1= 0.75$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \times P = (0.75 - 0.140) \times 56 \text{ KW} = 34.16 \text{ KVAR}$$

Cos $\phi=0.96$, $\phi=16.96^\circ$ mínima

Tang $\phi_1= 0.291$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \times P = (0.291 - 0.140) \times 56 \text{ KW} = 8.45 \text{ KVAR}$$

➤ Caso 2 compensación a 0.99

P=50kw

Cos $\phi=0.66$, $\phi=48.70^\circ$ máximo

Tang $\phi_1= 1.138$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \times P = (1.138 - 0.140) \times 50 \text{ KW} = 49.9 \text{ KVAR}$$

Cos $\phi=0.75$, $\phi=41.41^\circ$ medio

Tang $\phi_1= 0.882$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \times P = (0.882 - 0.140) \times 50 \text{ KW} = 37.1 \text{ KVAR}$$

Cos $\phi=0.97$, $\phi=14.06^\circ$ mínima

Tang $\phi_1= 0.251$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \times P = (0.251 - 0.140) \times 50 \text{ KW} = 5.55 \text{ KVAR}$$

➤ Caso 3 compensación a 0.99

P=40kw

Cos $\phi=0.67$, $\phi=47.93^\circ$ máximo

Tang $\phi_1= 1.108$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \times P = (1.108 - 0.140) \times 40 \text{ KW} = 38.72 \text{ KVAR}$$

Cos $\varphi=0.75$, $\varphi=41.41^\circ$ medio

Tang $\varphi_1= 0.882$

Tang $\varphi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \times P = (0.882 - 0.140) \times 40 \text{ KW} = 29.68 \text{ KVAR}$$

Cos $\varphi=0.96$, $\varphi=14.06^\circ$ mínima

Tang $\varphi_1= 0.251$

Tang $\varphi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \times P = (0.251 - 0.140) \times 40 \text{ KW} = 4.44 \text{ KVAR}$$

➤ Caso 4 compensación a 0.99

P=30kw

Cos $\varphi=0.70$, $\varphi=45.57^\circ$ máximo

Tang $\varphi_1= 1.02$

Tang $\varphi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \times P = (1.02 - 0.140) \times 30 \text{ KW} = 26.3 \text{ KVAR}$$

Cos $\varphi=0.8$, $\varphi=36.86^\circ$ medio

Tang $\varphi_1= 0.75$

Tang $\varphi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \times P = (0.75 - 0.140) \times 30 \text{ KW} = 18.3 \text{ KVAR}$$

Cos $\varphi=0.96$, $\varphi=16.26^\circ$ mínima

Tang $\varphi_1= 0.291$

Tang $\varphi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \times P = (0.291 - 0.140) \times 30 \text{ KW} = 4.53 \text{ KVAR}$$

➤ Caso 5 compensación a 0.99

P=20kw

Cos $\varphi=0.66$, $\varphi=48.7^\circ$ máximo

Tang $\varphi_1= 1.138$

Tang $\varphi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \times P = (1.138 - 0.140) \times 20 \text{ KW} = 19.96 \text{ KVAR}$$

Cos $\phi=0.75$, $\phi=41.4^\circ$ medio

Tang $\phi_1= 0.881$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\text{tang } \phi_1 - \text{tang } \phi_2) \times P = (0.881 - 0.140) \times 20KW = 14.82KVAR$$

Cos $\phi=0.95$, $\phi=18.19^\circ$ mínima

Tang $\phi_1= 0.328$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\text{tang } \phi_1 - \text{tang } \phi_2) \times P = (0.328 - 0.140) \times 20KW = 3.76KVAR$$

➤ Caso 6 compensación a 0.99

P=10kw

Cos $\phi=0.75$, $\phi=41.4^\circ$ medio

Tang $\phi_1= 0.881$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\text{tang } \phi_1 - \text{tang } \phi_2) \times P = (0.881 - 0.140) \times 10KW = 7.41KVAR$$

Cos $\phi=0.82$, $\phi=34.91^\circ$ medio

Tang $\phi_1= 0.698$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\text{tang } \phi_1 - \text{tang } \phi_2) \times P = (0.698 - 0.140) \times 10KW = 5.58KVAR$$

Cos $\phi=0.96$, $\phi=16.26^\circ$ mínima

Tang $\phi_1= 0.291$

Tang $\phi_2=0.140$

$$\Delta Q = (\text{tang } \phi_1 - \text{tang } \phi_2) \times P = (0.291 - 0.140) \times 10KW = 1.15KVAR$$

Los valores a compensar también pudieron haber sido tomados de tablas de fabricantes o proveedores, pero la tabla contiene lo mismo la tangente del ángulo a compensar restada del ángulo al que se desea llegar esto da una constante la que es multiplicada por la potencia que se desea compensar, por lo mencionado se eligió el cálculo matemático.

Tabla 3.13 Resumen de compensación en KVAR según el consumo

Rango	10KW	20KW	30KW	40KW	50KW	56KW
Máximo	7.41	19.96	26.3	38.72	49.9	54.2
Medio	5.58	14.82	18.3	29.68	37.1	34.16
Mínimo	1.15	3.76	4.53	4.4	5.55	8.45

De la tabla 3.13 se tomará la cantidad de 55 (54.2) KVAR total a compensar y para este caso como la potencia capacitiva necesaria para compensar es variable de acuerdo a las mediciones, por lo tanto, dividiremos la compensación total en pasos tratando de abarcar todos los casos necesarios y que estos sean accesibles en el mercado.

Paso 1 = 15KVAR

Paso 2 = 15KVAR

Paso 3 = 12.5KVAR

Paso 4 = 7.3KVAR

Paso 5 = 5KVAR

Por lo ya descrito diremos que la compensación seleccionada es global, y controlada por un regulador de pasos automático.

Regulador de paso var plus logic: Es un equipo que realiza las mediciones de factor de potencia en una compensación automática y determina la capacidad necesaria, activa una parte de la batería de condensadores según como se haya configurado para el funcionamiento, para poder configurarlo es necesario tener el manual de usuario el cual es accesible en la internet y se encuentra con el código del equipo.

3.5.1.3 Retorno de inversión de la compensación

El retorno de inversión lo evaluaremos con los precios de la marca Schneider y se mencionaran en la tabla 3.14 de costos de compensación.

Tabla 3.14 Costos para el banco de compensación

N°	Descripción	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio total S/.
01	Regulador de paso varplus logic	01	1752.00	1752.00
02	Condensador de 15KVAR	02	341.00	682.00
03	Condensador de 12.5KVAR	01	290.00	290.00
04	Condensador de 7.3 KVAR	01	298.00	298.00
05	Condensador de 5KVAR	01	310.00	310.00
06	Contactores para condensadores	05	250.00	1250.00
07	Tablero Metalico	01	200.00	200.00
08	Mano de obra técnica	02	120.00	240.00
09	Otros	01	50.00	50.00
Total en S/.				5070.00

Con el costo total de 5070 soles considerando que este puede tener descuento o incremento, pero no muy significativo por ello con cantidad evaluaremos el retorno de inversión y tomando en cuenta el último pago de energía reactiva que fue de 310 tomaremos para el análisis un valor promedio de beneficio mensual de 300 soles.

$$T.R.I = \frac{C.T.I}{BNF} = \frac{5070 \text{ S/}}{300 \text{ S/./mes}} = 16.9 \text{ meses}$$

Por lo que se recuperaría la inversión en 1 año 5 meses y de ahí en adelante sería utilidad o ahorro de 300 soles, pero eso no sería todo el beneficio ya que compensado se mejora la eficiencia de las instalaciones.

3.5.2 Análisis del costo del plan tarifario

3.5.2.1 Cálculos matemáticos de planes tarifarios

Actualmente el SENATI está en el plan tarifaria MT3, para lo cual realizaremos los cálculos matemáticos y análisis del comportamiento del consumo de acuerdo a la norma de opción tarifaria vigente.

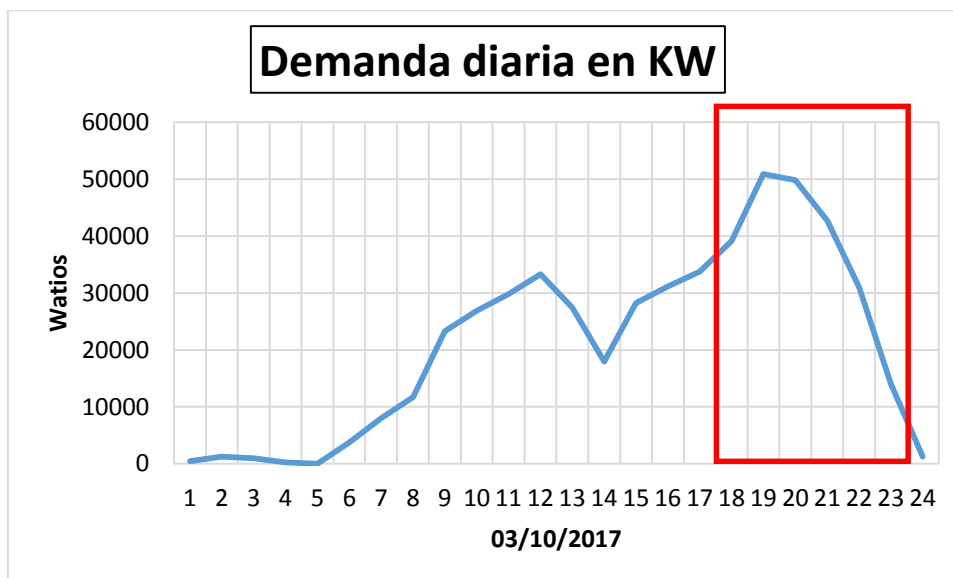


Figura 3.24 Potencia consumida en hora punta y hora fuera punta

De la figura 3.24 podemos analizar que el SENATI no consume el mínimo de su demanda en horas punta sino más bien lo contrario en esta hora se registra su mayor consumo por lo que no calificaría como para un plan tarifario MT2.

Realizaremos la calificación tarifaria con los datos de la facturación del anexo 02 Datos del recibo del mes de octubre este recibo se encuentra en el anexo.

Horas Punta = 130h

Promedio Máxima Demanda = 67.8682KW

Energía Activa HP = 3909.7325 KWh

$$\text{Calificación tarifaria} = \frac{E_{AHPmes}}{M.D.mes \times \#HPmes} = \frac{3909.7325 \text{KW.h}}{67.8682 \text{KW} \times 130 \text{h}} = 0.44$$

Como el resultado es menor que 0.5 entonces el SENATI no es un cliente presente en hora punta en el mes de octubre verificando los recibos desde el 2016 al mes analizado se encontró que todos los meses fueron facturados como clientes fuera hora punto por lo que no requiere hacer ningún otro calculo, por consiguiente, estamos en una correcta facturación categoría MT3 como cliente fuera de hora punta.

3.6 Plan de acción para mejorar la calidad y eficiencia de energía eléctrica del SENATI

Tratamiento y eficiencia en la distribución de las cargas eléctricas

Se debe realizar una correcta distribución de cargas eléctricas para que el consumo de corriente se uniforme en cada línea este balance puede efectuarse solo con la ayuda de una pinza amperimétrica y tomando como datos la base de las mediciones realizadas con el analizador Fluke 1743, luego del balance se debe evaluar la estabilidad de los valores de voltaje en cada línea del transformador.

Las limitaciones de balancear las cargas estaría determinada por la ubicación de las cargas que creen el desbalance para ello se requiere realizar un análisis minucioso de la distribución de las cargas

Implementación de los bancos de condensadores

El SENATI luego de tener una tensión estable y un consumo de corriente equilibrado producto del buen balance de las cargas en las líneas debe realizar la implementación de la compensación, con los valores calculados mostrados en el título 3.5.1.2 selección de tipo de compensación, el costo que se establece es real ya que es tomado del catálogo de precios 2017 también con el respaldo de los instructores del área de electrotecnia verificar la instalación y configuración de los pasos en el controlador automático de compensación, luego de 15 días de instalación se debe verificar que la secuencia de pasos sea la correcta, y en la facturación mensual verificar que el cargo por energía reactiva sea cero.

IV. DISCUSIÓN

1. El SENATI tiene una máxima demanda y una potencia contratada de 176.99KW cuando nuestro consumo llega hasta 60 KWh como promedio y solo algunos meses se excede 70KWh, esto es debido a que tenemos equipos los cuales no son utilizados al mismo tiempo o por ser de uso didáctico como los motores estos no trabajan a plena carga solo se realiza el arranque.

Si bien es cierto se obtuvieron los datos del transformador estos no son suficientes para poder determinar las pérdidas, tampoco se encontró el protocolo de prueba el que determina las pruebas a las que fue sometido el transformador.

2. De las mediciones realizadas con el analizador de calidad de potencia Fluke 1743 se tomaron el resumen de mediciones en los valores de consumo de energía máximo, mínimo y medio, para poder evaluar el comportamiento de los parámetros medidos

También se tomaron mediciones con un osciloscopio que permite tener una medición más exacta de la señal y en tiempos mínimos o ver la señal en tiempo real como se está comportando

Las mediciones tomadas del medidor de energía o registrador de consumo de la empresa Hidrandina permitieron validar la información y realizar mediciones en otros equipos de la subestación para poder llegar al problema de calidad de energía.

Si bien es cierto no se planteó como objetivo medir la temperatura del transformador como se iban procesando los datos y corroborando las mediciones fu necesario y fundamental para poder determinar la totalidad de problemas de calidad de energía eléctrica en el SENATI.

3. De las mediciones obtenidas con el analizador Fluke 1743 se encontró una variación de 30V entre línea y línea con referencia a tierra, mientras que las variaciones entre línea y línea llegaban hasta 35 voltios, tomando en cuenta las opiniones de especialistas en el tema y en el área de electrotecnia del SENATI, los niveles de variación de tensión no son aceptables por este motivo fue necesario tomar las mediciones del registrador de consumo en el que se encontraron variaciones de 8V con respecto al voltaje de referencia y una variación mínima de 2V voltios entre línea y línea. Estas diferencias conllevaron a realizar mediciones en el transformador encontrando temperaturas máximas de 49°C cuando este no sobrepasa el 30% de su potencia.

Los valores registrados de armónicos totales de voltaje alcanzan un valor máximo de 9.4% y se supera el 8% en un total de 149 intervalos, mientras que el total de armónicos de corriente en la línea 2 que alcanza un máximo de 60% y en promedio se supera el 20%, también aparece una determinada cantidad de armónicos de corriente en el neutro.

Los armónicos mencionados en el texto anterior ocasionan pérdidas por efecto Joule, perdidas magnéticas las cuales ocasionan un sobrecalentamiento alcanzando una temperatura de 49°C también originan una deformación de la onda como se ha visualizado en las mediciones con el osciloscopio.

4. La norma técnica peruana establece como una caída o variación de tensión de $\pm 5\%$ y en las mediciones realizadas en la salida del transformador y en los sub circuitos tomados como muestra sobrepasaron este, pero esto fue refutado con las mediciones tomadas del medidor de energía las cuales no superaban una variación de 2%.

Las variaciones de frecuencia analizadas en el periodo de medición son mínimas alcanzando valores de 0.12% cuando la norma determina un máximo de 1%, mientras que las variaciones diarias no fueron necesarias la evolución ya que no se superó el 1% y en análisis se puede ver que son mínimas.

Las distorsiones de THDV y THDI superaron los valores dados como máximo por la Norma técnica de calidad de servicio eléctrico, mientras que los flicker no alcanzan el 1%.

El transformador se encuentra trabajando a una temperatura de 49 °C con una demanda del 30% de su potencia total, la temperatura no sobrepasa los valores de 60°C en aceite pero cabe indicar que las mediciones exceden los valores límites de armónicos y estos ocasionan pérdida de potencia y sobrecalentamiento del transformador.

5. Los costos por energía reactiva son promedio de 250 a 300 soles mensuales, gastos innecesarios, para ello se determinó una compensación propia y detallada que permita compensar esta potencia reactiva por pasos y estos se puedan ajustar a la variación del consumo de energía.

El plan tarifario que se encuentra el SENATI es la MT3 para la cual se hizo la evolución y se determinó que el SENATI en hora punta tiene su mayor consumo lo cual para ser cliente MT2 debe ser la mínima, luego se evaluó si en esta tarifa esta como cliente hora punta o fuera punta y realizando la calificación obteniendo un valor de 0.44, realizando la verificación 12 meses de se observó que en ninguna de estas facturaciones se realizó un cobro como cliente hora punta.

6. Las variaciones de corriente en cada línea con variaciones de más del 100% con la aplicación del balance de cargas deben ser equilibradas y monitoreadas.

Con la compensación elegida se debe configurar los 5 pasos de acuerdo a lo detallado en el cálculo y verificar la eficiencia de la compensación

V. CONCLUSIONES

1. Con la información obtenida, ha permitido conocer que solo utilizamos como máximo el 30% de la potencia contratada.
2. La medición de los parámetros evaluado en carga media dio como resultado desbalances de corriente produciendo caídas de tensión y distorsiones en la salida del transformador.

La onda distorsionada observada en el osciloscopio es producto de los problemas de armónicos y el desnivel de tensión en la línea 2

3. Los valores promedio de distorsión THDV superan el %8, mientras que los THDI superan el 20% lo cual es un indicador de mala calidad de suministro y cuando no hay consumo no debería haber distorsión, pero se observa valores de 3 a 6% de distorsión total.
4. El nivel de tensión cumple con lo establecido en la norma está por debajo de 5% alcanzando como máximo un 2%, la variación de frecuencia súbdita (VSF) no superan el 0.12%, lo cual indica que también cumple con la norma y los flicker no sobrepasan no superan el 0.25% siendo como valor máximo a superar 1%.

Si bien es cierto los THDV superan el 8% y los THDI en 20% lo cual no cumplen con la norma, estos originan un sobrecalentamiento del transformador, con el balance de las cargas y la reducción de armónicos de se debe volver a evaluar la temperatura del transformador.

5. Se determinó una compensación global y variable con una batería de condensadores de 55KVAR en 5 pasos que permita variar el valor según la energía requerida a compensar, para lo cual sería necesario una inversión de 5070 soles la cual sería recuperada en 1 año 4 meses.

La facturación del SENATI es la correcta y está siendo facturado mensualmente como cliente de hora fuera punta.

6. El consumo equilibrado de corriente mejorara la calidad de energía y la compensación implementada, optimizada aumentara la eficiencia

VI. RECOMENDACIONES

Realizar el estudio de los niveles de resonancia en los circuitos eléctricos, como solución de problemas de calidad de energía eléctrica y reducción de energía reactiva.

El diseño de un algoritmo que permita ingresar los valores de factor de potencia de un circuito eléctrico medidos en un determinado tiempo y este de, el resultado más óptimo posible de compensación

Realizar el estudio del comportamiento de un transformador en función del consumo desbalanceado de corriente

VII. REFERENCIAS

7.1 Referencias bibliográficas

1. FIESTAS FARFÁN, Brian Eduardo. Ahorro energético en el sistema eléctrico de la Universidad de Piura -Compus Piura. Piura : s.n., 2011.
2. PONCE NIÑO DE GÚZMAN, Edgar. *Análisis de los Parámetros de calidad de los servicios eléctricos en la Universidad Católica de Santa María*. Arequipa : s.n., 2013.
3. BASANTES, Tisalema Juan Carlos y LALALEO ACHACHI, Diego Fernando. *Análisis de la Demanda eléctrica para realizar un diagnóstico de la calidad de energía en el Hospital del Instituto Ecuatorino de Seguridad Social (IESS) de la ciudad de Ambato en el año 2015*. Latacunga : s.n., 2016.
4. MINAS, MINISTERIO DE ENERGIA Y. *Código Nacional de Electricidad*. Lima : s.n., 2006.
5. BHAG S. GURU, HUSEYIN R HIZIROGLU. *Máquinas eléctricas y transformadores*. México : Oxford University Press México S.A., 2006. 978-970-613-673-2.
6. *Corrección del factor de potencia*. EPCOS. Lima : s.n., 2002, EPCOS FK PM PFC, pág. 6.
7. Sadiku, Charles K. Alexander y Matthew N. O. *Fundamentos de circuitos eléctricos*. México : McGraw-hill Companies. Inc, 2004. 0-07-326800-3.
8. *Manual de uso del registrador 1743*. Corporation, Fluke. 6/06, s.l. : Fluke Corporation, 2006, Vol. 1.
9. Copyright Tektronix, Inc. *Manual del usuario del osciloscopio digital de las series TDS1000 y TDS2000*. s.l. : P.O. Box 500, Beaverton, OR 97077. 071–1068–00.
10. *Manual de uso de cámara DT-9875*. CEM. s.l. : CEM, 2015.
11. HARPER, GILBERTO ENRÍQUEZ. *El ABC de la calidad de energía eléctrica*. México : Limusa Noriega editores , 2009. 9681857798, 9789681857790.
12. SERRA, JORDI. *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica*. España : Departamento. Comunicación e Imagen, Circutor S.A., 2008. Vol. SEGUNDA EDICIÓN. 978 84 612 0421 2.
13. FLOYD, THOMAS L. *Principios de circuitos eléctricos*. México : Pearson Educación, 2007. 978-970-26-0967-4.

14. *Armónicos y la calidad de energía eléctrica* . ENERGIA, RTR. http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos_2012.pdf, Madrid : RTR ENERGIA, 2012, LOS ARMONICOS Y LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, Vol. 2012.
15. A. Tejada, A. Llamas. Efectos de ls armónicas en los sistemas eléctricos. [En línea] [Citado el: 20 de Agosto de 2017.] <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/armonicas/07efectarm.pdf>.
16. MINAS, MINISTERIO DE ENERGÍA Y. Normas Técnicasde lo Servicios Eléctricos - Título quinto. <http://www.osinergmin.gob.pe/>. [En línea] 21 de Abril de 2006 . [Citado el: 12 de Octubre de 2017.] <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-020-97-EM.pdf>.
17. *Manual y catalogo del electricista*. Electric, Schneider. s.l. : Electric, Schneider, 2014, Vol. 2.
18. YEBRA MORÓN, Juan Antonio. *Compensación de potencia reactiva en sistemas eléctricos*. México : MCGRAW-HILL, 1987. 9789684220768.
19. MINAS, MINISTERIO DE ENERGIA Y. *Guía de orientación para la selección de la tarifa eléctrica a usuarios en media tensión*. Lima : MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS , 2011.

7.2 Anexos

Anexo 01 Recibo de facturación.

Recibo N° 501-44122094

La Esperanza/Trujillo

Recibo por Consumo del 01/09/2017 al 30/09/2017

Cliente	SENATI		
R.U.C.	20131376503		
Dirección	Au Panamericana Norte km555 PP.JJ La Esperanza - La Esperanza, Trujillo - La Lib		
Referencia			
Ruta	31-272-9		
Tarifa	MT3	Serie Medidor	000000016225690 - Electrón.
Medición	Media Tension	N° Hilos Medidor	4
Tensión	10 kV	Modalidad	Potencia Variable
SED	E-304591	Inicio Contrato	25/06/2013
Tipo Suministro	Trifásica-Aérea(C5.2)	Termino Contrato	24/06/2018

Setiembre-2017

CÓDIGO 47148249

Promedio Máxima Demanda	Potencia Contratada
69.3409	176.9900

Calificación	Fuera de Punta	HorasPunta	130
--------------	----------------	------------	-----

Magnitud Leída	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energia Activa Total (kWh)	2,125.0067	2,174.8682	49.8615	13,598.5773	Cargo Fijo		6.5200	6.52
Energia Activa Hora Punta (kWh)	562.5638	576.8261	14.2623	3,889.7143	Cargo por Reposición y Mantenimiento de la Conexión			15.63
Energia Activa Fuera Punta (kWh)	1,562.4429	1,598.0421	35.5992	9,708.8630	Energia Activa HP	3889.7143	0.2126	826.95
Energia Reactiva (kVarh)	1,687.2458	1,729.1683	41.9225	11,433.3977	Energia Activa FP	9708.8630	0.1703	1653.42
Potencia Hora Punta (kW)	0.2283	0.2229	0.0054	60.7908	Energia Reactiva	7353.8245	0.0422	310.33
Potencia Fuera Punta (kW)	0.1743	0.1923	0.0180	52.4454	Pot. Uso Redes Distrib. FP	69.3409	13.4200	930.55
Factor Calificación : 0.4922					Pot. Activa Generación FP	60.7908	24.3800	1482.08
Fac.Medic. 272.7270					Alumbrado Público (Alícuota : S/ 0.4846)			242.30
					Ajuste Tarifario	1.0000	-16.7000	-16.70
					SUB TOTAL			5451.08
					Imp. Gral. a las Ventas			981.19
					Saldo por redondeo	1.0000	0.0300	0.03
					Redondeo		0.0500	0.05
					Aporte Ley Nro. 28749	13598.5773	0.0081	110.15
					TOTAL RECIBO DE SETIEMBRE-2017			
					Aporte FOSE(Ley N°27510) S/ 147.24			
					6542.50			

— PHP kW — PFP kW

Año 2017

Año 2017

Importe 2 Últimos Meses Facturados	
Jul - 2017 S/ 6299.40	Ago - 2017 S/ 6249.00

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS													
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set
EAFP kWh	10739	10725	19465	7694	7074	13062	11955	9502	11524	9527	9557	9539	9759
EAFP kWh	4428	4300	4106	2421	1940	3727	2855	2503	4451	4090	3276	3556	3690
PFP kW	58.090	49.8918	52.7727	48.5272	38.7918	73.3090	76.3363	66.7090	55.3090	56.6181	56.4346	47.5263	52.4454
PHP kW	64.6363	70.0363	66.5454	60.8545	28.3991	75.9817	67.0090	63.1636	68.9727	66.5181	66.7036	62.2636	60.7908

Emisión	04/10/2017	Vencimiento	23/10/2017		TOTAL	S/*****6,542.50
---------	------------	-------------	------------	--	-------	-----------------

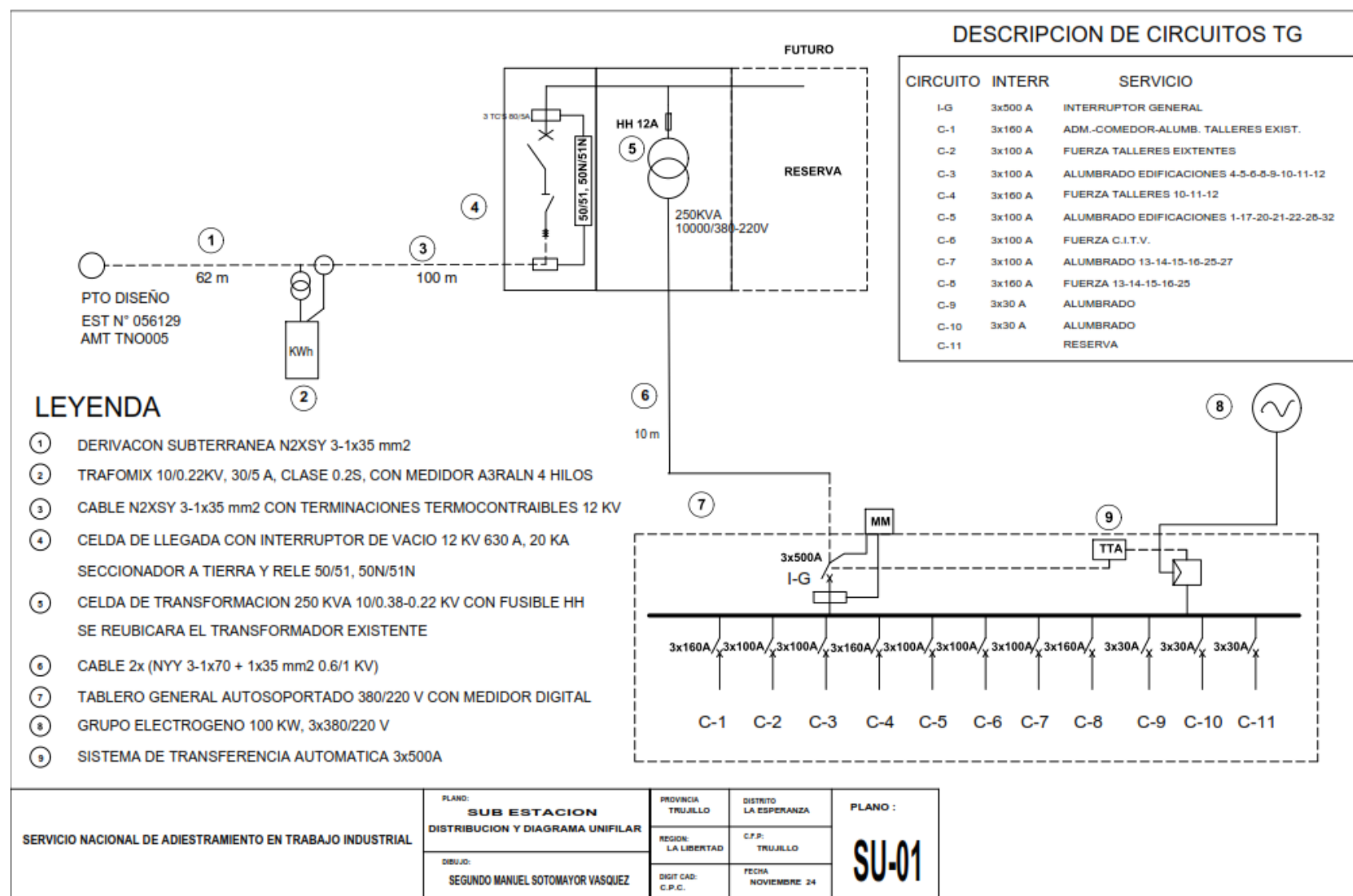
Su AMT es : A3005 - TNO005 de SE de Potencia : S.E. TRUJILLO NORTE

Son : Seis MIL QUINIENTOS CUARENTA Y DOS Y 50/100 SOLES

(*) El Importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Setiembre-2017 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap. I. Art. 4, Inciso 6.1.d.

Si realiza el pago via transferencia bancaria debe enviar un correo a: pagoshdna@distriluz.com.pe Revise el estado de cuenta de su recibo en: <http://www.distriluz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.asp> x?empresa=3

Anexo 02 Diagrama unifilar de distribución del SENATI



Anexo N° 03 mediciones en la sub estación



Anexo N° 04 Mediciones de voltaje correspondientes al 03/10/17 en TGS

Hora	V medio L1	V medio L2	V medio L3	V mín L1	V mín L2	V mín L3	V máx L1	V máx L2	V máx L3	V delta rms L1L2	V delta rms L2L3	V delta rms L3L1
	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
00:00:00	235.6	232.5	235.1	231.9	229.3	231.7	237.8	234.6	237.4	406.4	404.3	407.2
01:00:00	235.8	232.9	235.5	231.9	229.5	232.4	238.5	235.2	238.0	406.8	405.1	407.7
02:00:00	236.4	233.4	236.1	233.9	230.8	233.5	238.9	235.6	238.5	407.9	405.9	408.8
03:00:00	236.3	233.2	235.9	233.0	230.0	232.6	239.1	235.4	238.5	407.6	405.5	408.6
04:00:00	236.9	233.5	236.6	234.8	231.5	234.6	239.1	235.4	238.7	408.4	406.5	409.7
05:00:00	235.3	232.3	235.0	232.2	229.1	231.7	238.0	234.6	237.4	405.9	404.0	406.9
06:00:00	234.3	228.3	234.0	230.6	225.0	230.2	236.5	231.1	236.3	398.7	402.7	405.1
07:00:00	236.2	226.6	236.1	232.6	222.8	233.0	238.3	230.6	238.3	398.8	403.1	408.4
08:00:00	234.3	219.3	233.8	231.3	195.3	231.1	236.5	223.6	235.9	388.8	396.7	405.1
09:00:00	233.2	217.7	233.0	230.0	191.1	229.8	235.2	222.3	235.2	385.1	395.8	403.4
10:00:00	236.7	209.0	236.2	231.1	162.8	232.4	238.9	219.1	238.9	381.8	389.9	409.6
11:00:00	235.9	211.5	235.6	232.4	171.1	231.5	238.7	221.0	238.5	381.9	392.8	408.2
12:00:00	236.0	211.0	235.6	232.6	170.6	231.5	238.7	221.7	238.9	382.7	391.4	408.2
13:00:00	235.8	226.3	235.8	231.7	220.8	232.2	237.8	230.8	238.0	396.7	403.7	408.1
14:00:00	233.2	218.3	232.9	229.5	175.0	229.3	235.9	226.9	235.6	386.6	395.1	403.5
15:00:00	235.2	211.6	235.0	232.4	179.1	231.3	237.6	217.8	237.4	382.5	391.7	406.9
16:00:00	235.5	211.9	235.2	231.7	181.3	230.6	238.0	219.5	237.8	381.9	392.8	407.4
17:00:00	236.7	210.2	236.9	233.2	174.1	233.0	239.1	215.1	239.6	380.0	394.4	410
18:00:00	233.8	205.9	233.7	230.6	182.6	230.6	237.2	210.1	237.4	370.1	390.9	404.7
19:00:00	233.1	208.2	232.5	231.3	206.4	230.8	235.0	210.3	234.3	369.9	392.9	403.2
20:00:00	236.4	212.0	239.4	234.8	207.5	238.0	238.0	215.6	241.1	374.8	402.8	412.9
21:00:00	237.2	216.7	237.2	234.6	209.9	234.1	239.1	222.1	239.1	384.3	401.4	410.9
22:00:00	236.7	225.3	236.4	233.0	221.5	232.8	239.6	228.2	239.1	396.1	403.7	409.5
23:00:00	237.0	232.9	236.6	234.6	229.3	234.1	239.4	235.2	239.1	407.0	406.8	409.9

Anexo N° 05 Medición de corrientes y frecuencia el 03/10/17 TGE

Hora	Frecuencia	I medio L1	I medio L2	I medio L3	I máx L1	I máx L2	I máx L3	I peak L1	I peak L2	I peak L3	I medio N	I máx N	I peak N
	Hz	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
00:00:00	60.0	5.6	0	0	8.2	0	0	8.6	0	0	6.1	8.2	9.3
01:00:00	60.0	5	0	0	17.6	0	0	8.1	0	0	5.3	16.5	8
02:00:00	60.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00:00	60.0	6.4	0	0	9.9	0	0	10	0	0	6.4	9.9	9.4
04:00:00	60.0	5.1	0	0	18.2	0	0	7.8	0	0	5.3	17.4	7.8

05:00:00	60.0	6.1	0	0	7.3	0	0	9.4	0	0	6.6	7.7	9.5
06:00:00	60.0	18.4	10.9	8.4	30.7	17.2	16.4	34.6	17	17.7	8.3	19.3	17.6
07:00:00	60.0	23.9	14.1	10.2	49.9	18.2	19.3	46.5	21.9	20.5	16.4	41.6	29
08:00:00	60.0	42.3	25.3	36.6	63.6	74	86.6	82.9	41.8	67.1	18.2	52	35.4
09:00:00	60.0	51.7	28.7	40.1	113.4	75.2	100.6	102.7	47	75.2	24.1	47.7	51.2
10:00:00	59.9	69.9	42.3	73.6	257.2	162.6	219.4	122.5	66.9	115.7	30.2	63.4	53.4
11:00:00	60.0	56.9	38.9	52.5	167.7	115.4	209.8	107	63.8	88.5	26.8	163.1	56.3
12:00:00	60.0	59.3	38.3	59.7	158.2	115.9	130.7	105.6	62.4	97.4	23	63.1	46.2
13:00:00	60.0	35.2	17.7	33.7	71.3	25.2	84.9	72.4	28.4	63.8	24.2	64.3	45.1
14:00:00	60.0	46.9	25.9	47.9	112.8	105.7	139.6	91.2	44.4	89.8	28.6	79.9	55.2
15:00:00	60.0	75.8	36.4	57.5	172.2	93.1	160.7	132.6	57	87.4	28.1	54.4	58.8
16:00:00	60.0	69.6	38.2	62.8	153.1	94.4	151.4	122.1	60.9	99.8	26.2	57.3	51.3
17:00:00	60.0	82	44.7	65.3	182.9	112.3	162.8	132.5	69.5	107.5	39.4	54.7	62
18:00:00	60.0	86	54.8	76.6	138.8	93.8	136	139.6	77.6	133.9	36.1	58.1	62.8
19:00:00	60.0	90.8	54.5	99.4	111.1	55.9	163.1	142.7	78.2	146.7	49	91.5	88.6
20:00:00	60.0	76.8	52.4	74.6	94.8	57.1	122.6	120.2	72.6	107.8	31.1	61.7	56.2
21:00:00	60.0	55.1	40.6	55.7	65.5	50.1	65.6	87.1	56.8	78.3	22.8	29.7	47.9
22:00:00	60.0	32.5	21.1	34.3	39.2	25.4	43.6	53.3	33.3	48.5	17.2	25.2	35.7
23:00:00	60.0	9.3	0.3	6.4	20.8	10.1	14.3	20.7	0.5	12.9	7.5	18.4	13.6

Anexo 06 Mediciones de THDV y THDI el 03/10/17 en el TGS

Hora	THD V medio L1	THD V medio L2	THD V medio L3	THD V máx L1	THD V máx L2	THD V máx L3	THD I medio L1	THD I medio L2	THD I medio L3	THD I medio N	THD I máx L1	THD I máx L2	THD I máx L3	THD I máx N
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
00:00:00	3.6	5.8	3.5	3.7	5.9	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00:00	3.5	5.8	3.4	3.6	5.8	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02:00:00	3.3	5.6	3.2	3.4	5.7	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03:00:00	3.2	5.6	3.1	3.3	5.7	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04:00:00	3.1	5.5	3.0	3.1	5.6	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05:00:00	2.9	5.4	2.8	3.0	5.5	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06:00:00	3.1	5.7	3.0	3.3	5.7	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00:00	4.3	6.8	4.1	4.4	7.0	4.2	20.7	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0
08:00:00	4.3	7.6	4.0	4.4	7.9	4.1	22.3	0.0	18.4	71.8	27.3	0.0	22.2	100.0
09:00:00	3.9	7.2	3.6	4.0	7.9	3.7	24.9	15.8	18.9	82.2	31.9	27.4	31.7	100.0
10:00:00	2.8	7.2	2.8	2.9	7.8	2.9	18.9	11.9	13.6	71.7	27.1	16.9	17.3	99.9
11:00:00	2.7	6.9	2.7	2.8	7.4	2.8	21.5	0.0	14.8	78.9	29.4	0.0	21.4	100.0
12:00:00	2.8	7.4	2.8	2.9	8.2	2.9	17.5	13.1	13.5	83.5	26.4	16.5	18.9	99.9
13:00:00	3.3	7.4	3.3	3.4	7.8	3.3	28.1	0.0	17.7	65.3	34.2	0.0	19.9	84.6
14:00:00	3.4	7.4	3.4	3.6	8.3	3.6	22.8	18.0	16.0	63.3	32.5	26.0	22.6	100.0

15:00:00	3.1	6.8	3.2	3.2	7.3	3.3	15.7	0.0	9.5	83.5	20.5	0.0	12.6	100.0
16:00:00	3.2	7.1	3.2	3.3	7.7	3.4	16.0	13.2	9.6	98.9	23.6	17.2	18.2	100.0
17:00:00	3.2	6.6	3.3	3.3	7.0	3.6	13.4	11.1	13.9	66.5	16.3	15.3	22.2	91.7
18:00:00	3.6	7.7	3.9	3.7	7.9	3.9	15.5	11.9	19.9	99.3	18.3	12.9	22.4	100.0
19:00:00	2.9	5.9	2.9	2.9	6.0	3.0	14.3	13.3	13.8	80.3	15.4	13.6	15.4	100.0
20:00:00	3.2	6.6	2.6	3.2	6.9	2.6	15.0	13.0	14.9	133.5	16.1	13.4	15.7	133.5
21:00:00	3.2	5.3	3.1	3.2	5.7	3.1	15.1	16.2	15.7	144.5	16.0	18.2	17.0	144.5
22:00:00	3.2	6.4	3.1	3.2	6.8	3.2	15.5	33.3	18.7	114.8	16.2	37.0	20.5	114.8
23:00:00	3.4	6.7	3.1	3.5	6.8	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Anexo N° 07 mediciones de flickers y factor de potencia el 03/10/17 en TGE

Hora	Flicker Pst L1	Flicker Pst L2	Flicker Pst L3	PF L1	PF L2	PF L3	PF total
	Pst	Pst	Pst				
00:00:00	0	0	0	0.75	1	1	0.75
01:00:00	0	0	0	0.826	1	1	0.826
02:00:00	0	0	0	1	1	1	1
03:00:00	0	0	0	0.867	1	1	0.867
04:00:00	0	0	0	0.8	1	1	0.8
05:00:00	0	0	0	0.794	1	1	0.794
06:00:00	0	0	0	0.905	-1	0.957	0.944
07:00:00	0	0	0	0.97	0.935	0.914	0.948
08:00:00	0	0	0	0.912	0.925	0.913	0.916
09:00:00	0	0	0	0.939	0.954	0.939	0.942
10:00:00	0	0	0	0.832	0.768	0.762	0.79
11:00:00	0	0	0	0.874	0.859	0.856	0.864
12:00:00	0	0	0	0.866	0.8	0.772	0.815
13:00:00	0	0	0	0.915	0.979	0.969	0.949
14:00:00	0	0	0	0.917	0.919	0.948	0.93
15:00:00	0	0	0	0.87	0.824	0.725	0.811
16:00:00	0	0	0	0.909	0.862	0.818	0.865
17:00:00	0	0	0	0.871	0.886	0.878	0.877
18:00:00	0	0	0	0.957	0.942	0.933	0.945
19:00:00	0	0	0	0.957	0.975	0.95	0.958
20:00:00	0	0	0	0.968	0.974	0.956	0.965
21:00:00	0	0	0	0.95	0.963	0.944	0.951
22:00:00	0	0	0	0.957	0.94	0.939	0.946
23:00:00	0	0	0	0.943	1	0.89	0.92

Anexo N° 08 Medición de corrientes el 10/10/17 en MTLM

Hora	I medio L1	I medio L2	I medio L3	I máx L1	I máx L2	I máx L3	I peak L1	I peak L2	I peak L3	I medio N	I máx N	I peak N
------	------------------	------------------	------------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	---------------	----------------

	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
00:00:00	5.5	0	0	18.4	0	0	8.7	0	0	5.4	17	7.8
01:00:00	4.2	0	0	17	0	0	6.7	0	0	4.6	15.5	6.9
02:00:00	7.2	0	0	19.4	0	0	11.3	0	0	7	17.7	10.2
03:00:00	6.4	0	0	7.3	0	0	10.5	0	0	6.1	7.2	8.9
04:00:00	0.3	0	0	16.9	0	0	0.7	0	0	0.3	15.7	0.6
05:00:00	12.8	3.3	4.4	404.8	244.6	202.7	28.1	9.8	14	9.5	227.7	18.9
06:00:00	15.8	10.3	10.7	28.3	11.8	13	32.3	16.3	21.1	8	17.6	17.6
07:00:00	17.8	14.7	10.4	28.8	17.6	25.2	37.1	22.1	21.3	8	18.2	17.7
08:00:00	48.4	29.8	41.3	379.4	120.3	320.8	94.4	48	75.7	24.4	36	44
09:00:00	80.8	40.8	73.6	175.2	103.5	191.1	145.5	62.7	115.2	31.3	45.3	58.6
10:00:00	105.1	56.8	106.7	215.5	124.6	252.4	170.5	85.9	153.7	32.3	103.5	59.3
11:00:00	89.9	46.5	88.7	205.6	107.2	255.3	155.6	70	130.3	25.9	165.3	53.8
12:00:00	66.9	37.8	72.9	207.1	110.5	235.2	117.2	61.6	112	30.7	85.9	60.3
13:00:00	67.2	29.2	58.3	164	97.5	156.8	118.7	45.4	95.9	29.8	60.7	52.6
14:00:00	90.9	46.7	88.8	299.3	160.4	282.1	147.4	72.3	131	31.3	169.3	58.1
15:00:00	102.1	48.7	97.9	217.2	147.4	241.9	162.6	72.1	140.8	32.1	168.6	59.8
16:00:00	105.9	52.2	98.2	205.7	122.2	202.7	172.4	80.2	143.2	30.5	96.3	55.7
17:00:00	61.4	32	47.4	293.4	63.1	224.7	116.3	52.9	85.7	33.2	80.6	63
18:00:00	70.7	35.4	54.5	95.1	40.7	103.3	121.7	53.9	89	32.6	51.5	58.9
19:00:00	82.3	47.7	98.2	104.1	51.8	107.7	131.3	68.8	142.6	51.2	57.1	94
20:00:00	59.4	43.1	72.7	76.5	45.5	123.7	97.3	60.4	104.7	31.4	73.8	56
21:00:00	45.6	28.8	50.6	56.4	33.9	62.4	72.8	42.3	71.5	24.5	33.6	46.5
22:00:00	23.3	8.4	26.9	38	15	86.6	38.9	12.7	39.1	20.2	70.2	38.8
23:00:00	8.8	0	7.2	19.1	0	16.2	20.2	0	14.9	8.4	16.9	14.6

Anexo N° 09 Mediciones de THDV y THDI del 10/10/17 en MTLM

Hora	THD V me dio L1	THD V med io L2	THD V med io L3	THD V máx L1	THD V máx L2	THD V máx L3	THD I medi o L1	THD I med io L2	THD I med io L3	THD I med io N	THD I máx L1	THD I máx L2	THD I máx L3	THD I máx N
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
00:00:00	3.54	6.03	3.39	3.61	6.11	3.45	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00:00	3.46	5.88	3.4	3.55	5.94	3.47	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00:00	3.25	5.75	3.24	3.31	5.82	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00:00	3.08	5.65	3.07	3.17	5.73	3.16	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00:00	3.01	5.63	3.02	3.07	5.69	3.06	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00:00	2.94	5.58	2.93	3.01	5.69	3.01	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00:00	3.02	5.62	2.89	3.1	5.69	2.94	0	0	0	66	0	0	0	87.1
07:00:00	4.2	6.44	3.98	4.28	6.52	4.07	27.5	0	0	81	31	0	0	100
08:00:00	4.51	7.67	4.28	4.63	7.98	4.37	22.6	15.8	17.8	72	29.1	18.5	20.4	91.2
09:00:00	3.73	6.26	3.48	3.95	7.57	3.59	17.3	0	10.2	80.8	28.5	0	16.2	99.9
10:00:00	3.38	6.64	3.22	3.54	7.89	3.34	11.7	7.9	9.67	77.9	19.5	13.6	15.3	99.9

11:00:00	3.4	6.01	3.15	3.54	6.94	3.24	15	0	10.2	127	22.3	0	15.3	127
12:00:00	2.93	7.6	2.66	3.09	8.5	2.77	17.3	13.8	11.1	67.4	29.3	21.6	15.4	99.8
13:00:00	3.66	7.05	3.51	3.81	8	3.64	15.1	0	12.2	60.8	24.2	0	19	73.7
14:00:00	3.89	8.21	3.72	4.07	9.02	3.91	11.6	10.9	12.1	69.1	26.5	27.9	25.1	100
15:00:00	3.37	6.84	3.2	3.62	8.75	3.45	11.6	0	10.2	81.9	20.4	0	21.3	100
16:00:00	3.66	6.79	3.51	3.8	8.45	3.64	10.8	0	9.99	81.6	15.8	0	15.1	98.3
17:00:00	3.9	8.45	3.69	3.99	8.75	3.79	21	19.6	20.5	71.5	29.5	24	24.5	99.9
18:00:00	4.6	7.55	4.31	4.69	7.8	4.4	17	13.3	12	68.3	20	14.7	15	96.7
19:00:00	3.1	6.25	2.94	3.12	6.5	3.01	14.5	14.4	12.2	61.9	15.8	15.5	14.4	100
20:00:00	3.11	5.58	3.03	3.16	5.64	3.07	17.1	16	13.8	105	18.7	16.2	14.8	105
21:00:00	3.36	5.28	3.18	3.42	5.33	3.22	16.4	23.4	16.1	102	17.2	23.6	16.7	102
22:00:00	3.53	6.55	3.3	3.6	6.82	3.42	0	0	20.3	45.2	0	0	23.4	54.8
23:00:00	3.63	6.64	3.47	3.72	6.68	3.52	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo N° 10 Mediciones de corriente del 07/10/17 en ELEC

Hora	I medio L1	I medio L2	I medio L3	I máx L1	I máx L2	I máx L3	I peak L1	I peak L2	I peak L3	I medio N	I máx N	I peak N
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
00:00:00	0	5.3	0	0	17.2	0	0	8.2	0	5.7	16	8.6
01:00:00	0	9	0	0	20.3	0	0	13.9	0	8.8	19.3	12.9
02:00:00	0	6.1	0	0	18.9	0	0	9.4	0	6.5	18.4	9.6
03:00:00	0.7	6.6	0.5	112	84.2	113.2	6.1	10.8	4.3	6.8	79.8	11
04:00:00	7.2	19.9	6.9	15.5	32.2	9.2	14.7	33.4	10.6	15.8	26.4	23
05:00:00	7.8	14.1	7.8	27.4	23.9	11.1	16.3	30.9	12.4	7.6	27.1	15.8
06:00:00	19.7	26.9	7.9	30	50.3	35.8	35	52.4	13.6	21.4	38.5	34
07:00:00	22.9	31.6	13.6	33.1	45.3	19.9	42.1	63.2	22.5	22.1	32	40.5
08:00:00	24.7	30.1	15.9	36	45.5	28	47.2	63.6	26.5	18.2	61.5	38.8
09:00:00	21.1	29.9	13.9	31.7	45.5	18.4	39.2	61	22.4	20.4	44.5	38.9
10:00:00	14.1	40.8	17.7	21.8	59.7	20.6	28.4	77.1	28.3	31	69.2	55.2
11:00:00	12.2	22.4	18.1	23	60.3	45.5	23.7	47.2	27.2	11.3	46.5	24.8
12:00:00	8.7	17	10.1	17.7	52	16.7	20.4	38.9	17.4	14.4	51.3	38.2
13:00:00	18.6	19.3	13.7	26.4	52.8	17.4	34	40.1	22.3	12.6	54.5	34.1
14:00:00	18.5	18.3	9	26.8	54.4	11.1	34.6	37.8	15.2	15.9	46.4	26.9
15:00:00	17.2	15.9	8.8	25.9	28.1	10.2	33.6	38.8	15.1	15.1	24	27.1
16:00:00	19.2	16.5	12	35.3	27.3	24	33.5	36.4	19.3	11.8	28.1	20.9
17:00:00	39.8	32.7	19.2	90.3	41.8	24.9	61.5	54.4	28	23.9	59	47.9
18:00:00	23.5	37.4	13.9	44.8	43.5	17.9	36.9	59.9	19.4	23.4	28.5	35.4
19:00:00	22	31.7	10.7	30.7	41.3	12.3	32.9	51.6	17.2	18.5	27.3	31.6
20:00:00	13.1	18.8	9.3	65.8	66	11.1	24.2	36.2	13.9	11.3	58.3	19.9
21:00:00	1.9	8.7	0	11.8	20.3	0	4	17.2	0	8.4	19.6	13
22:00:00	0	6.4	0.2	0	18.4	7.8	0	9.8	0.2	6.4	17.7	9.6
23:00:00	0	4.7	0	0	17.7	0	0	7.4	0	5	16.5	7.6

Anexo N° 11 Mediciones de THDV y THDI del 07/10/17 en ELEC

Hora	THD V medio L1	THD V medio L2	THD V medio L3	THD V máximo L1	THD V máximo L2	THD V máximo L3	THD I medio L1	THD I medio L2	THD I medio L3	THD I medio N	THD I máximo L1	THD I máximo L2	THD I máximo L3	THD I máximo N
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
00:00:00	3.3	3.2	5.7	3.3	3.2	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00:00	3.1	3.1	5.6	3.2	3.2	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02:00:00	3.0	3.0	5.6	3.1	3.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03:00:00	2.9	2.9	5.5	3.0	3.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04:00:00	3.2	3.2	6.2	3.3	3.2	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05:00:00	4.3	4.2	7.5	4.4	4.3	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06:00:00	4.1	3.9	7.4	4.2	4.0	7.5	0.0	23.6	0.0	43.7	0.0	26.7	0.0	50.0
07:00:00	3.9	3.7	7.9	4.0	3.8	7.9	23.1	27.1	0.0	62.7	25.3	29.2	0.0	70.0
08:00:00	3.8	3.5	7.9	3.9	3.7	8.8	22.8	33.8	30.3	109.9	24.4	37.0	30.4	109.9
09:00:00	3.9	3.7	8.5	4.0	3.8	10.0	28.5	30.4	35.6	69.8	30.0	32.3	37.5	98.2
10:00:00	3.8	3.6	8.3	3.9	3.7	10.3	33.6	18.5	0.0	28.7	34.8	20.3	0.0	42.4
11:00:00	4.4	4.2	7.4	4.5	4.3	7.5	0.0	29.9	0.0	67.6	0.0	38.3	0.0	100.0
12:00:00	4.6	4.4	8.6	4.8	4.5	10.6	0.0	34.8	0.0	64.6	0.0	39.4	0.0	100.0
13:00:00	4.6	4.3	8.5	4.7	4.4	10.0	0.0	28.2	0.0	77.9	0.0	33.6	0.0	100.0
14:00:00	4.5	4.3	8.0	4.7	4.4	8.2	0.0	29.8	0.0	49.2	0.0	32.3	0.0	59.5
15:00:00	4.6	4.3	8.0	4.7	4.4	8.2	0.0	41.5	0.0	52.3	0.0	44.5	0.0	59.8
16:00:00	4.6	4.3	7.5	4.7	4.4	7.6	0.0	33.8	0.0	69.0	0.0	39.4	0.0	86.4
17:00:00	3.1	3.0	5.9	3.1	3.0	6.0	15.5	19.6	0.0	62.8	17.8	23.5	0.0	73.6
18:00:00	3.1	3.0	6.5	3.2	3.1	6.5	20.5	13.3	0.0	44.8	24.1	14.1	0.0	53.6
19:00:00	3.3	3.2	6.9	3.3	3.3	7.1	24.2	0.0	0.0	54.8	25.5	0.0	0.0	63.3
20:00:00	3.4	3.2	6.7	3.5	3.3	6.8	0.0	0.0	0.0	45.6	0.0	0.0	0.0	100.0
21:00:00	3.5	3.4	6.3	3.6	3.4	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00:00	3.5	3.5	6.0	3.7	3.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00:00	3.5	3.4	5.9	3.5	3.5	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Anexo 12 Mediciones de voltaje del medidor de energía del 29/09/17

Hora	V delta rms L1L2	V delta rms L2L3	V delta rms L3L1	V medio L1	V medio L2	V medio L3	V medio L1
	V	V	V	V	V	V	V
00:00:00	392.3	392.7	390.6	226.5	226.7	225.5	392.3
01:00:00	393.7	394.1	392.0	227.3	227.6	226.3	393.7
02:00:00	394.9	395.4	393.5	228.0	228.3	227.2	394.9
03:00:00	391.2	391.8	390.0	225.9	226.2	225.2	391.2
04:00:00	389.6	390.1	388.1	224.9	225.2	224.1	389.6
05:00:00	388.7	389.5	387.5	224.4	224.9	223.7	388.7

06:00:00	390.0	391.0	389.0	225.2	225.8	224.6	390.0
07:00:00	389.8	390.2	388.6	225.1	225.3	224.4	389.8
08:00:00	388.4	389.2	387.8	224.3	224.7	223.9	388.4
09:00:00	388.4	388.5	387.0	224.2	224.3	223.5	388.4
10:00:00	387.1	387.3	386.0	223.5	223.6	222.9	387.1
11:00:00	391.2	391.6	390.2	225.9	226.1	225.3	391.2
12:00:00	393.7	394.1	391.8	227.3	227.5	226.2	393.7
13:00:00	392.8	393.0	391.3	226.8	226.9	226.0	392.8
14:00:00	387.6	387.9	386.4	223.8	224.0	223.1	387.6
15:00:00	389.1	389.4	387.5	224.6	224.8	223.8	389.1
16:00:00	389.9	389.9	388.5	225.1	225.1	224.3	389.9
17:00:00	392.3	392.6	391.4	226.5	226.7	226.0	392.3
18:00:00	391.2	391.8	390.3	225.9	226.2	225.3	391.2
19:00:00	393.2	393.7	391.9	227.0	227.3	226.3	393.2
20:00:00	394.7	394.9	393.6	227.9	228.0	227.3	394.7
21:00:00	392.6	393.0	391.3	226.7	226.9	225.9	392.6
22:00:00	394.9	395.7	394.0	228.0	228.4	227.5	394.9
23:00:00	392.8	393.6	391.5	226.8	227.3	226.0	392.8